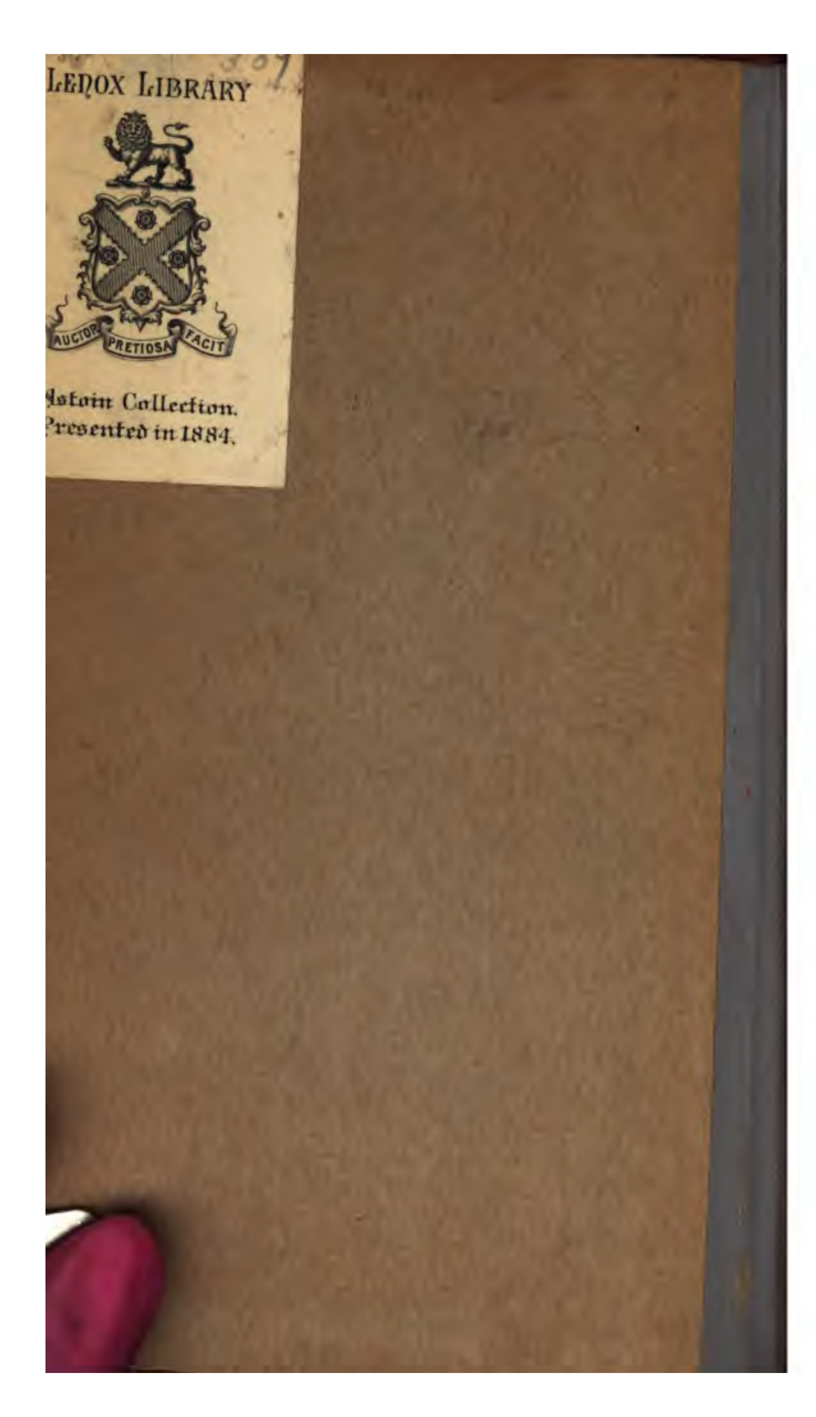

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06911363 1



LENOX LIBRARY
AUCTOR PRETIOSA FACIT





LETTRES

SUR LA CHIMIE.

Imprimerie de Bourgogne et Martinet, rue Jacob, 30.

Imprimerie de Bourgogne et Martinet, rue Jacob, 30.



Dr Just. Liebig

[illegible]

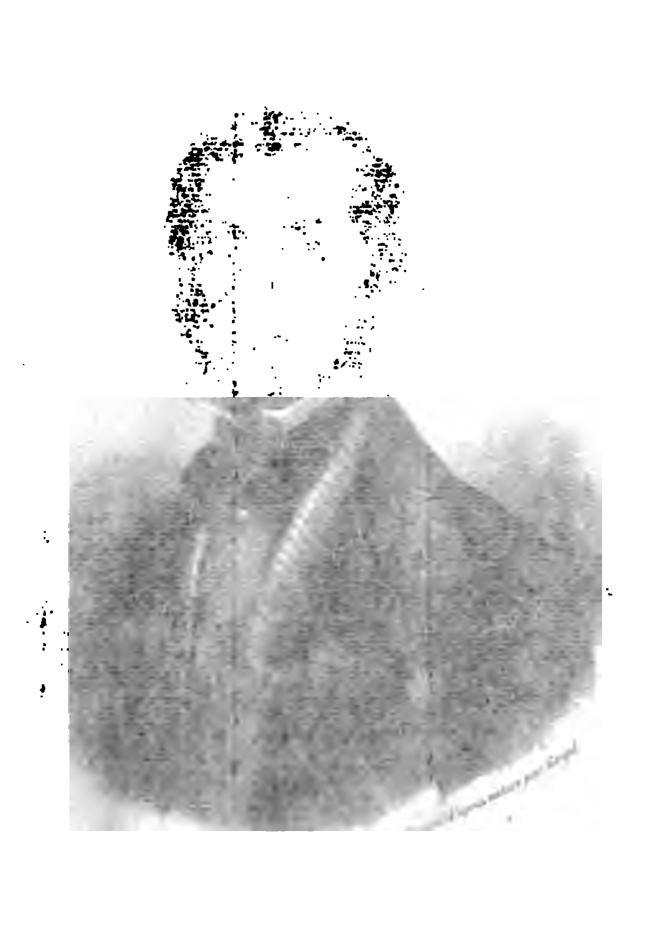
[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]



LETTRES

SUR

LA CHIMIE

ET SUR SES APPLICATIONS

A L'INDUSTRIE, A LA PHYSIOLOGIE

ET

A L'AGRICULTURE.

PAR JUSTUS LIEBIG,

TRADUITES DE L'ALLEMAND

PAR

Le Dr G.-W. BICHON,
Elève de M. Liebig.

PARIS.

CHARPENTIER, ÉDITEUR, Rue de Seine, 29.
FORTIN, MASSON ET Ce, ÉDITEURS, 1, place de l'Ecole-de-Médecine.

Même maison, chez L. Michelsen, à Leipzig.

1845.

607

AVANT-PROPOS.

Il serait impossible, même à l'observateur le plus attentif, de parvenir à comprendre notre époque, considérée sous son double aspect matériel et intellectuel, s'il ne connaissait par quels liens cachés se tiennent les découvertes qui ont été faites jusqu'à ce jour au profit de la vie et de la science. Pour l'homme instruit, cette connaissance est un besoin, car c'est en elle que réside la première et la plus importante condition du

développement et du perfectionnement de sa vie intellectuelle. C'est déjà un avantage pour lui que de pouvoir se rendre compte des causes et des forces qui servent de base à tant et de si riches résultats, puisque c'est seulement par les résultats obtenus qu'il peut s'éclairer sur les faits qui les ont amenés, et lire sûrement dans l'avenir. C'est en se familiarisant avec ces faits qu'il peut prendre part lui-même au mouvement, et que disparaît spontanément pour lui tout ce qui, dans les phénomènes, lui paraissait ou une énigme, ou l'effet du hasard; alors seulement il comprend les directions nouvelles et progressives de l'esprit de son temps, et les choses lui apparaissent liées entre elles de la manière la plus naturelle et la plus nécessaire. C'est ainsi que, s'emparant à son tour des richesses intellectuelles de son époque, il acquiert l'avantage de les faire tourner à son profit, selon sa volonté et selon son pouvoir; par là aussi il peut contribuer à l'accroissement de ces biens, en propager les bienfaits et les faire fructifier pour d'autres.

C'est de ce point de vue que sont écrites ces *Lettres sur la chimie;* elles ont pour but de diriger l'attention du monde éclairé sur l'état et sur la signification de la chimie, sur les problèmes dont les chimistes cherchent

la solution, sur la part qu'elle a prise aux progrès de l'industrie, à ceux de la mécanique, de la physique, de l'agriculture et de la physiologie.

Ces lettres ont été écrites pour les personnes éclairées qui ont pour habitude de ne pas reculer devant la discussion des questions les plus importantes et les plus difficiles de la science, attendu qu'elles exercent une heureuse influence sur ses progrès ultérieurs et ses applications ; elles ont été écrites aussi pour cette classe de lecteurs qui n'a aucun goût pour cette forme d'exposition dite populaire dans laquelle on descend souvent jusqu'à de triviales et niaises explications. L'étude de la nature offre cela de particulier que tous ses résultats sont tout aussi clairs, tout aussi compréhensibles pour le simple bon sens de l'homme du monde que pour le savant, et que celui-ci n'a d'autre avantage sur l'autre que la connaissance des voies et des moyens par lesquels on est arrivé aux résultats obtenus; mais, dans la plupart des cas, cette connaissance est tout-à-fait inutile à ceux qui ne s'intéressent qu'aux applications utiles.

La forme d'exposition que j'ai choisie n'a pas besoin, je pense, d'être justifiée. J'ai pensé qu'elle était d'obligation et pour moi-même et pour la feuille périodique dans laquelle ces lettres ont paru pour la première fois.

Toute personne, qui suit avec quelque attention le mouvement des choses en Allemagne, doit reconnaître combien la *Gazette universelle*, qui se publie à Augsbourg, est une œuvre précieuse pour les besoins de l'époque, comme organe de l'histoire dans tous les genres de culture, soit sous le rapport politique et social, soit sous le rapport scientifique; chacun sait combien elle se recommande par sa propagation, par l'étendue et la variété de ses vues, par la profondeur et la solidité de ses communications sur toutes les branches des connaissances humaines, comme aussi par le bon goût et la délicatesse du tact des hommes auxquels la rédaction en est confiée. Ce sont là autant de raisons qui expliquent pourquoi j'ai fini par accéder aux invitations répétées et pressantes du propriétaire de cette gazette, et pourquoi j'ai essayé d'ouvrir à la chimie un cercle plus vaste dans la société. Les *Lettres sur la chimie* (les douze premières) ont eu deux éditions en anglais (sous le titre de *Familiar Letters on Chemistry*, 2e édition, London, Taylor and Walton, 1844). Cette traduction anglaise, qui a été répandue en Amérique, au prix de quatre centimes la feuille, sous forme de journal, a été tirée à plus de 60,000 exemplaires. Enfin, en Italie, où l'on prend si peu de part à la littérature étrangère, si ce n'est peut-être à la fran-

çaise, il en a paru une excellente traduction (qui va jusqu'à la 21ᵉ lettre insérée dans le supplément de la *Gazette universelle* du 6 mai 1844 : *Lettere chimiche di Giusto Liebig, trad. dal dottore G. D. Bruni. Torino, stemperia reale*, 1844). Un pareil succès me donne l'espoir que, dans ma patrie, au suffrage de laquelle j'attache le plus de prix, on voudra bien ne pas méconnaître le but dans lequel ces lettres ont été écrites, et qu'une édition dans laquelle elles ont toutes été réunies se trouve par cela même justifiée.

Giessen, juillet 1844.

Justus LIEBIG.

LETTRES

SUR LA CHIMIE

ET SUR SES APPLICATIONS

A L'INDUSTRIE, A LA PHYSIOLOGIE

ET A L'AGRICULTURE.

—

PREMIÈRE LETTRE.

Sujet. — Influence des sciences naturelles sur le commerce et sur l'industrie. — Conséquences de la découverte de l'oxigène. — Méthodes d'investigation des astronomes et des physiciens. — Méthode des chimistes. — Analyse chimique. — Chimie appliquée. — Influence de la chimie dans les recherches qui ont pour but les phénomènes de la vie.

Il est si souvent question de chimie dans les ouvrages modernes, qu'on me saura peut-être gré de présenter

une appréciation plus précise de l'influence de cett science sur les arts et sur l'industrie, et de ses rapport avec l'agriculture, la physiologie et la médecine.

Puissé-je réussir, dans cette première lettre, à donner plus de force à cette conviction, que la chimie, considérée en elle-même comme science, offre un des plus puissants moyens pour amener les esprits à un plus haut degré de culture; que son étude est utile, non seulement parce qu'elle fait progresser l'homme dans ses intérêts matériels, mais aussi parce qu'elle fait pénétrer, pour lui, la lumière dans les merveilles de la création qui l'entoure immédiatement, et auxquelles les conditions de notre être, celles de notre existence et de notre développement, se trouvent liées de la manière la plus intime!

Les questions qui se rapportent aux causes des phénomènes de la nature, et aux changements qui surviennent, chaque jour, dans tout ce qui nous environne, sont si conformes aux besoins de l'esprit de l'homme en éveil, que les sciences qui donnent des réponses satisfaisantes à ces questions exercent, sur la culture de l'intelligence, une influence plus grande que ne le font toutes les autres sciences.

La chimie, comme faisant partie de la science qui a pour objet l'étude de la nature, est étroitement liée à la physique, et celle-ci a d'intimes rapports avec l'astronomie, et avec les sciences mathématiques. La base de chaque branche des sciences naturelles, c'est l'observation simple de la nature elle-même; ce n'a été que successivement que les faits trouvés par l'expérimenta-
ont formé un corps de science.

Les relations de la lumière avec la terre, les révolutions des astres, les alternatives des jours et des nuits, la vicissitude des saisons, la diversité des températures dans les différentes zones de la terre, ont conduit à l'astronomie.

A mesure que l'esprit humain avance dans l'intelligence des choses, quelle que soit la source où il puise, ses facultés se fortifient et s'élèvent dans toutes les directions. La connaissance exacte des rapports qui lient certains phénomènes, l'acquisition d'une nouvelle vérité, créent pour l'homme un nouveau sens dont il s'enrichit, et par lequel il devient alors capable d'apercevoir et de reconnaître un nombre indéfini d'autres phénomènes qui, pour lui et pour les autres, demeuraient auparavant invisibles et cachés.

La physique a pris naissance avec l'astronomie; et lorsqu'elle est arrivée à un certain degré de développement, elle a engendré la chimie scientifique; la science des lois de la vie, la physiologie, attend, à son tour, son développement de la chimie organique.

Cependant vous ne devez pas oublier qu'on a déterminé la durée de l'année, expliqué le retour des saisons et calculé les éclipses de la lune sans connaître les lois de la gravité; qu'on a construit des moulins et établi des pompes sans connaître la pression de l'air; qu'on a produit du verre et de la porcelaine, qu'on a fait de la teinture et séparé les métaux d'après les seules données de l'art expérimental, sans être par conséquent guidé par de véritables principes scientifiques. C'est ainsi que la géométrie elle-même est, dans sa base, une science d'expérience; la plupart de

principes étaient trouvés par la pratique avant qu leur vérité fût démontrée par syllogismes. La proposition que le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des deux cathètes fut une expérience, une découverte; s'il en avait été autrement, l'inventeur aurait-il offert une hécatombe lorsqu'il en trouva la *démonstration?*

Sous quel aspect bien différent s'offrent aujourd'hui les découvertes de celui qui interroge la nature, depuis que le souffle spiritualisé d'une véritable philosophie (de quelque nom que nous l'appelions: physique, chimie, mathématiques) l'a conduit à étudier les phénomènes pour arriver à la raison de leurs causes et de leurs lois!

De la tête d'un seul génie élevé, du grand Newton, il a jailli plus de lumière qu'il ne s'en était produit, avant lui, dans un espace de mille ans. La vraie connaissance du mouvement des globes célestes, celle de la chute des corps, sont devenues les sources d'autres découvertes sans nombre, dont la navigation, le commerce, l'industrie, et chaque individu en particulier, tireront, tant que l'humanité existera, des profits intellectuels et matériels.

Il serait impossible, sans consulter l'histoire de la physique, de se faire une idée de l'influence que l'étude des sciences naturelles a exercée sur la culture de l'esprit. Dans nos écoles, les enfants s'imprègnent de bonne heure de verités dont la conquête a coûté des travaux immenses et d'indicibles efforts. Ils sourient aujourd'hui quand nous leur racontons que le naturaliste italien a écrit une dissertation longuement détaillée pour prouver que la neige qui tombe sur l'Etna est la

même substance que celle qui recouvre les Alpes de la Suisse, et qu'il a accumulé raisonnements sur raisonnements pour démontrer que toutes deux, en fondant, donnent *de l'eau* d'une égale qualité et ayant des propriétés égales. Et pourtant son argumentation ne fut pas déjà si palpable; car quelle différence n'y a t-il pas entre la température de la Sicile et celle de la Suisse! Personne n'avait alors une idée de la distribution de la chaleur à la surface de la terre. Lorsqu'un enfant recouvre d'une simple feuille de papier un verre rempli d'eau, et le retourne sens dessus dessous sans qu'une seule goutte de liquide s'en échappe, il n'étonne plus, de nos jours, qu'un second enfant comme lui. C'est pourtant la même expérience qui a rendu le nom de Torricelli immortel; c'est une variante de celle avec laquelle, à Ratisbonne, le bourgmestre de Magdebourg frappa d'un étonnement muet l'empereur et l'empire. Nos enfants ont, de la nature et de ses phénomènes, des notions et des idées plus justes que ne les avait Platon. Ils peuvent s'arroger le droit de rire des erreurs de Pline.

Par l'histoire, par la philosophie et par les études classiques, nous acquérons la connaissance du monde intellectuel; nous apprenons l'art de faire des recherches et l'art de penser; nous démontrons la nature spirituelle de l'homme. En lisant les actes des grands hommes, ceux des hommes de bien de tous les temps, nous apprenons, par l'expérience des siècles passés, à modérer et à maîtriser les passions, à adoucir les cœurs; les mêmes études nous font passer ensuite à la connaissance de l'homme de notre époque, dont la nature morale reste éternellement la même; elles nous enseignent à revêtir

de la plus belle forme les principes de la religion, ceux de la vérité et de la justice, et à les graver, par là, plus profondément dans le cœur des autres. Cependant ni l'histoire, ni la philosophie, n'ont pu empêcher qu'on n'ait brûlé des hommes comme sorciers, que le grand Keppler n'ait dû se rendre à Tubingen pour sauver sa mère condamnée à mourir par le feu, et qu'il n'ait pu le faire qu'à cette condition, qu'il démontrerait qu'elle était réellement dépourvue de tout ce qui faisait une sorcière.

Comme la graine d'un fruit mûr, la chimie s'est séparée de la physique, il y a soixante ans, pour former une science à part. Une ère nouvelle a commencé pour elle avec les Cavendish et les Priestley. La médecine, la pharmacie, les arts techniques, avaient préparé le sol dans lequel la graine devait se développer, et sur lequel elle devait fructifier.

Son point de départ est, comme on le sait, une vue nette, et en apparence très simple, du phénomène de la combustion. Nous savons maintenant tout ce qui s'en est suivi; quels profits elle a produits, quels bienfaits elle a répandus. Depuis la découverte de l'*oxigène*, le monde civilisé a éprouvé toute une révolution dans ses mœurs et dans ses habitudes. La connaissance de la composition de l'atmosphère et de l'écorce solide de la terre, celle de l'eau, celle de son influence sur la vie des plantes et des animaux, se liaient à cette découverte. Elle a les rapports les plus intimes avec la direction plus avantageuse donnée à une foule de fabriques et de professions, et avec l'exploitation des métaux. Depuis lors, on peut dire que la prospérité

matérielle des États s'est augmentée dans un rapport multiple, et que l'aisance de chaque individu n'a fait que s'accroître.

Chaque découverte particulière qui se fait en chimie est suivie de semblables effets; chaque application de ses lois est capable d'apporter, dans une direction quelconque, de l'utilité à l'État, et d'en augmenter la force et la prospérité.

La chimie offre plus d'un point de ressemblance avec les mathématiques. Par celles-ci, nous apprenons à arpenter les champs, à construire des édifices, à soulever des fardeaux. Or, la chimie est, comme l'arithmétique, un instrument dont, par un maniement habile, on sait aussi tirer des avantages qui frappent les yeux. D'un autre côté, les mathématiques rendent l'homme capable de raisonner juste d'après des règles déterminées; elles lui enseignent une langue particulière, qui lui permet d'exprimer une série de conséquences, de la manière la plus simple, par des lignes et par des signes qui sont intelligibles à quiconque connaît cette langue; elles lui enseignent encore à apercevoir avec clarté des rapports qui étaient auparavant pour lui ou obscurs ou inconnus.

Le mathématicien, le physicien, l'astronome, se servent des mathématiques comme d'un instrument tout-à-fait indispensable pour atteindre à certains résultats. Il faut qu'ils acquièrent un tel exercice dans leur usage, que leur application se réduise, pour eux, en une dextérité mécanique qui ne réclame que de la mémoire. Mais ce n'est pas l'instrument qui fait l'œuvre, c'est l'intelligence humaine; et vous conviendrez que,

sans le jugement, la sagacité et la faculté de méditation, toutes les mathématiques seraient pour l'homme une science parfaitement inutile.

Imaginez-vous un homme qui, favorisé d'une grande mémoire, se serait familiarisé, de la manière la plus parfaite, avec toutes les propositions des mathématiques; qui aurait acquis une habileté extrême dans l'art de faire usage de cet instrument, sans être en état pourtant de se donner à lui-même un problème. Si vous lui en soumettez un, si vous lui fournissez, en même temps, toutes les conditions de sa solution, il réussira, au moyen des opérations dont il connaît la pratique, à donner une réponse qui sera exprimée par une formule composée de certains signes, mais dont le sens sera pour lui complétement inintelligible, vu qu'il manque encore de beaucoup d'autres conditions pour juger de la vérité de cette formule. Il n'est donc encore, jusque là, qu'un simple chiffreur; mais dès qu'il en sera venu à posséder à la fois la capacité et le talent de se poser à lui-même un problème, et de s'assurer de la réalité de son calcul, il sera devenu alors un investigateur de la nature; car, quel que soit le problème qu'il se sera donné, où peut-il en avoir puisé les éléments si ce n'est dans la nature ou dans la vie?

Vous l'appellerez mécanicien, astronome, ou physicien mathématicien, s'il porte ses investigations sur la liaison de certains phénomènes en prenant l'observation pour point de départ; s'il sait découvrir les causes d'où ces phénomènes dérivent; s'il est capable non seulement de traduire en formules les résultats de ses recherches, et de les exprimer dans la langue du ma-

thématicien, mais encore s'il possède, en outre, l'aptitude pour en faire des applications; s'il peut, en un mot, transformer ses formules en phénomènes pour en vérifier la justesse.

Par conséquent, indépendamment des mathématiques, dont ils ont à se servir comme instrument, l'astronome, le physicien, le mécanicien, doivent encore posséder l'art de faire des observations et d'interpréter les phénomènes. Il faut que, à l'aide de quelque appareil, ils soient capables de substituer un phénomène, ou une machine, à un syllogisme, et de démontrer une série de conséquences par une série d'expériences.

Le physicien se propose la solution d'une question; il veut sonder les conditions d'un phénomène, la cause de ses changements, et il arrive, au moyen des opérations mathématiques, à une expression simple de la grandeur inconnue, ou de la proportion cherchée, pourvu que la question ait été posée d'une manière juste, et que tous les facteurs en soient entrés dans le calcul. Cette expression, traduite en langage ordinaire, explique la liaison des phénomènes observés, celle de l'expérience faite par lui; l'expression est *vraie*, si elle lui permet de produire une certaine série d'autres phénomènes qui soient des conséquences de cette même expression.

Vous comprenez facilement comment les mathématiques se lient aux recherches qui ont pour but l'étude de la nature, et vous comprenez aussi qu'il faut encore, outre la connaissance des mathématiques, un haut degré d'imagination, de sagacité et de talent spéculatif, pour arriver à faire des découvertes utiles en physique,

en astronomie ou en mécanique. C'est une erreur très commune que celle qui attribue toutes les découvertes à la science des mathématiques; en cela, comme en mille autres choses, on confond l'effet avec la cause. Il en est de même lorsqu'on attribue aux machines à vapeur ce qui appartient au feu, et lorsqu'on attribue au charbon ce qui appartient à l'intelligence de l'homme. Pour faire des découvertes dans les mathématiques, il faut la même force d'esprit, la même sagacité et la même puissance de réflexion que pour la solution d'autres problèmes tout aussi profonds. Ce sont alors des perfectionnements apportés à un instrument qui, dans les applications, est propre à un nombre infini d'usages utiles. Mais les mathématiques, par elles-mêmes, ne font pas les découvertes dans la science de la nature; elles n'y servent jamais qu'à mettre en œuvre les choses trouvées, ce qui a été observé par les sens, ou la pensée nouvelle qui a été créée par l'esprit.

A la physique mathématique on oppose la physique expérimentale; c'est celle-ci qui fait les recherches, qui découvre les faits, et les prépare pour le physicien-mathématicien. La tâche de la physique expérimentale est d'exprimer par des phénomènes les lois, les vérités trouvées, et d'expliquer les formules mathématiques par des expériences, afin de les rendre accessibles à nos sens.

Dans ses réponses aux questions qu'elle se pose, la *chimie* procède de la même manière que la physique expérimentale; elle apprend à trouver les moyens qui conduisent à la connaissance des divers corps dont se

compose l'écorce de la terre, et qui forment les parties constituantes de l'organisme des animaux et des végétaux.

Nous étudions les propriétés des corps, les changements qu'ils éprouvent lorsqu'ils sont en contact les uns avec les autres. Toutes les observations, prises ensemble, constituent une langue; chaque propriété, chaque changement que nous apercevons dans un corps, est un mot de cette langue.

Les corps, dans leur manière de se comporter, offrent certains rapports avec d'autres corps; ils leur ressemblent, ou pour la forme, ou pour certaines propriétés, ou bien ils en diffèrent et s'en éloignent sous ce double point de vue. Ces dérivations sont aussi variées que les mots de la langue la plus riche; elles ne sont pas moins diverses dans leur signification que dans leurs rapports avec nos sens.

Les corps diffèrent aussi par leurs qualités; ce que leurs propriétés nous disent se modifie selon les divers arrangements qu'ils subissent; nous trouvons dans la langue particulière que les corps nous parlent, comme dans toute autre langue, des articles, des cas, toutes les inflexions des substantifs et des verbes, nous trouvons aussi un grand nombre de synonymes. Les mêmes quantités des mêmes éléments produisent, selon leur arrangement, un poison, un médicament, un aliment, un corps volatil ou un corps fixe.

Nous connaissons la signification de leurs propriétés, c'est-à-dire des mots avec lesquels la nature nous parle; et pour arriver à lire, nous mettons à profit l'alphabet que nous avons appris.

Il existe, en Savoie, une source minérale qui guérit les goîtres ; j'adresse à cette source certaines questions, et, toutes les lettres de ses réponses étant mises ensemble, elle me dit qu'elle renferme de l'iode.

Après avoir pris une certaine nourriture, un homme meurt avec tous les indices d'un empoisonnement; le langage des phénomènes, qui est familier au chimiste, annonce à celui-ci que l'homme est mort de l'arsenic ou du sublimé corrosif.

Le chimiste, par ses questions, fait parler un minéral ; celui-ci lui répond qu'il est soufre, fer, chrôme, silicium, aluminium, ou que, combiné d'une certaine manière, il contient un mot quelconque de la langue des phénomènes de la chimie : *c'est là de l'analyse chimique.*

Cette langue des phénomènes conduit le chimiste aux combinaisons d'où dérive un nombre infini d'applications utiles; ces combinaisons l'amènent à des améliorations dans les fabriques, dans les arts, dans la préparation des médicaments, dans les procédés de la métallurgie. Il a déchiffré l'outre-mer ; il s'agit alors pour lui de traduire le mot par un phénomène, et de produire l'outre-mer avec toutes ses propriétés : *c'est de la chimie appliquée.*

Jusqu'à présent, il n'est presque aucune question d'art, d'industrie, de physiologie, qui n'ait pu être résolue par la chimie scientifique. Toute question qui a été posée jusqu'ici d'une manière rigoureuse et définie, a eu sa solution : seulement lorsqu'il est arrivé que le questionneur n'a pas

vu clair dans le sujet sur lequel il a demandé une explication, sa question est restée sans réponse.

Le dernier problème de la chimie, et aussi le plus élevé, est celui qui a pour but de rechercher les causes des phénomènes de la nature, celle de ses changements, comme aussi les facteurs communs que les différents phénomènes peuvent avoir entre eux. Le chimiste cherche les lois suivant lesquelles les phénomènes se produisent, et groupant ensemble tous les faits perceptibles qu'il a reconnus par ses sens, il arrive enfin à une expression abstraite de ces phénomènes, c'est-à-dire à une *théorie.*

Cependant, pour savoir lire dans un livre écrit avec des caractères inconnus, pour arriver à le comprendre, pour approfondir les vérités d'une théorie, et pour rendre sujets de notre volonté les phénomènes sur lesquels ces vérités reposent, ainsi que les forces d'où elles résultent, il est indispensable de commencer par apprendre l'alphabet; il faut se familiariser avec l'usage de ces signes; il faut acquérir de l'exercice et de l'habileté dans leur maniement; il faut, en un mot, apprendre à connaître les règles sur lesquelles leurs combinaisons sont fondées.

De même que, dans la mécanique transcendante, la physique suppose une grande habileté dans l'exercice de l'*analyse mathématique*, de même le chimiste, comme naturaliste, doit s'être familiarisé de la manière la plus intime avec l'*analyse chimique*. Il exprime toutes ses déductions, tous ses résultats, par des expériences et par des phénomènes.

Chaque expérience est une pensée qui est

perceptible aux sens par un phénomène. Pour nos idées et pour nos inductions, les preuves, de même que leurs réfutations, sont des expériences, et celles-ci sont des interprétations de phénomènes que nous avons appelés arbitrairement.

Il fut un temps où la chimie, de même que l'astronomie, la physique et les mathématiques, n'était autre chose qu'un art d'expérimentation appuyé sur la routine et tout formé de règles; mais depuis que l'on connait les causes et les lois sur lesquelles ces règles reposent, cet art a perdu toute son importance.

Il fallait un apprentissage pénible, et une grande perte de temps, pour connaître les manipulations et les méthodes, pour savoir toutes les mesures de précaution usitées dans les arts chimiques, dans les procédés industriels, dans la pharmacie. Les singuliers attributs du chimiste de l'époque antérieure à la nôtre, ses fourneaux, ses vaisseaux, sont aujourd'hui des curiosités. On n'apprend plus aucune de ces choses depuis, bien entendu, que l'on connait les causes qui les avaient rendues nécessaires. Aujourd'hui, le succès d'une expérience, celui d'une opération, dépendent beaucoup moins de la dextérité mécanique que des connaissances acquises; l'insuccès vient d'un défaut de savoir; l'art d'inventer repose sur une manière habile de combiner, et sur l'organe de la pensée.

Dans les cours, nous apprenons l'alphabet; dans le laboratoire, l'usage des signes; l'élève y acquiert l'habileté de la lecture dans la langue des phénomènes, il y apprend les règles des combinaisons, et y trouve l'habitude et les occasions de les appliquer.

Aussitôt que ces lettres et ces signes se sont transformés pour lui en un langage intellectuel, leur signification ne se perd ni ne s'efface plus. Avec leur connaissance, il est doué du pouvoir de faire des recherches dans des pays inconnus, de s'instruire, et d'arriver à des découvertes partout où ces signes qu'il emploie ont leur valeur. La langue qu'il parle est le moyen par lequel il a l'intelligence des mœurs, des coutumes, des besoins qui dominent dans les contrées qu'il parcourt. Il est vrai que, sans la connaissance de cette langue, il peut encore passer la frontière des pays dont nous parlons; mais alors il s'expose à une foule de mécomptes et d'erreurs. Il demande du pain, c'est un caillou qu'on lui donne.

La *médecine*, la *physiologie*, la *géologie*, la *physique expérimentale*, voilà les pays inconnus dont il doit faire connaître les lois, l'organisation et les formes de gouvernement. S'il ignore la langue des phénomènes, s'il ne sait point l'art de les interpréter, il ne reste plus, pour lui, à acquérir que la connaissance des formes et des propriétés extérieures.

Ne voyez-vous pas en quoi la physiologie est en souffrance? ne vous apercevez-vous pas de la conviction intérieure de nos grands physiologistes, à chaque parole qu'ils prononcent, à chaque expérience qu'ils font? La connaissance des formes extérieures ne leur suffit plus; ils sont pénétrés de l'importance et de la nécessité absolue d'une vue plus profonde, plus intime, en un mot, d'une vue chimique; mais est-elle imaginable ou possible, sans la connaissance de notre langue?

Quand d'autres physiologistes moins bien partagés

reprochent à la chimie que tous nos résultats leur ont été inutiles, et qu'ils ne sont susceptibles, pour eux, d'aucune application fructueuse, c'est là assurément une grande injustice, car ils n'en comprennent ni le sens, ni l'usage que l'on peut en faire. Il leur serait sans doute tout aussi impossible de lire un livre allemand en caractères hébraïques, s'ils ignoraient ces caractères.

Ne vous apercevez-vous pas que la physiologie est, à son tour, tout aussi dédaignée que la chimie, par beaucoup de médecins, et que la médecine lui fait précisément les mêmes reproches, et cela avec le même tort?

Le médecin qui a appris la médecine, non comme une science, mais comme un art purement pratique, ne reconnaît aucun principe ; il n'y a pour lui que des règles résultant de l'expérience, que ce qui, dans tel ou tel cas, produit un bon ou un mauvais effet. L'art expérimental ne se demande pas *pourquoi*, il ne remonte pas aux causes. Cependant de quel point de vue ne serait pas jugé l'état anormal et pathologique de l'organisme humain, si son état normal nous était suffisamment connu, si nous avions des idées tout-à-fait nettes sur la marche de la digestion, sur l'assimilation et sur les excrétions? Quelle différence n'en résulterait-il pas dans la manière de traiter les maladies? En l'absence d'une exacte représentation des forces, des causes et des effets, faute d'une pénétration pratique dans l'essence des phénomènes de la nature, sans une culture à fond de la physiologie et de la chimie, est-il surprenant que des hommes, d'ailleurs intelligents, aient pu défendre les idées les plus absurdes; que la doctrine d'Hahnemann ait pu s'introduire en Alle-

magne, et trouver des adeptes dans tous les pays? Le seul bon sens ne garantit pas, même les nations, de la superstition; mais l'enfant, en développant son esprit et ses connaissances, perd la peur des fantômes.

Peut-on espérer de ceux dont nous parlons ici, qu'ils tirent jamais le moindre profit des découvertes de la chimie et de la physiologie? Peut-on les croire capables d'en faire jamais l'application, même la plus insignifiante, ceux qu'un esprit philosophique ne porte pas à pénétrer jusqu'aux secrets de la nature, et qui n'ont pas appris à interpréter la langue des phénomènes?

Ces hommes, et ceux que le même esprit dirige, ne peuvent admettre que la vérité soit une chose aussi simple, quoique, málgré toute la peine qu'ils se donnent, ils ne puissent réussir à en faire une seule application. C'est pourquoi ils nous en donnent eux-mêmes des aperçus impossibles, et après s'être créé l'expression de *force vitale*, ils ne voient plus là qu'une chose miraculeuse, avec laquelle ils se rendent compte de tous les phénomènes qu'ils ne peuvent comprendre. C'est ainsi qu'on *explique* tout ce qui n'*est pas compréhensible*, par quelque chose d'*inintelligible* et de tout aussi indéfini en soi !

Pour approfondir jusque dans son principe la force vitale, et pour en comprendre les effets, il faut que les médecins suivent exactement la route qui leur a été tracée avec tant de succès dans la physique et dans la chimie.

Certes, il n'y avait pas un état de la matière qui fût plus caché, ni plus obscur, autant pour les yeux

du corps que pour ceux de l'intelligence, que celui qu'on désigne par l'expression d'*état électrique*.

Dix siècles se sont écoulés depuis le développement de la physique, avant que l'esprit de l'homme ait eu même un pressentiment de cette force immense de la nature qui prend part à tous les changements de la matière inorganique, et à toutes les fonctions de la vie végétale et de la vie animale.

Par une suite d'infatigables recherches, et sans avoir été découragé par des difficultés sans nombre, le naturaliste physicien est parvenu à acquérir la connaissance la plus exacte de cette force de la nature, et il l'a rendue soumise à ses ordres. Il sait maintenant que l'électricité tire, avec *la chaleur*, *la lumière et le magnétisme*, son origine d'une mère commune; par elle, il s'est rendu maître des frères et des sœurs; les uns et les autres se rendent à son appel; avec son secours il peut commander à l'éclair de suivre telle route, il sépare les métaux précieux de leurs gangues les plus pauvres; c'est par elle qu'il est parvenu à approfondir, de prime abord, la véritable nature des parties constituantes du globe terrestre; et enfin, elle lui sert à donner l'impulsion aux navires et à multiplier à son gré les objets d'art les plus délicats.

Une force n'est pas visible; nous ne pouvons pas la saisir avec nos mains; pour la reconnaître dans son essence et dans ses propriétés, il faut que nous l'étudiions dans ses manifestations, et que nous fassions des recherches sur ses effets. Cependant la simple observation ne suffit pas pour cela, puisque l'erreur est toujours à la surface; la vérité se tient au fond, c'est là

qu'il faut la chercher. Lorsque nous saisissons de travers un phénomène, un fait, quand nous le lions et nous le délions d'une manière incorrecte, on appelle cela commettre une erreur : mais nous nous mettrons à l'abri de l'erreur si nous examinons bien et notre acquisition et l'explication que nous voulons donner du phénomène observé; si nous nous efforçons par tous les moyens d'en démontrer la vérité. Il faut étudier les conditions dans lesquelles le phénomène a été observé, et dès qu'elles sont reconnues il faut changer ces conditions. L'influence de ce changement doit être un sujet de nouvelles études; par-ce moyen, la première observation se rectifie et se montre avec clarté à notre esprit : on ne doit rien laisser au caprice. Le véritable naturaliste doit tout expliquer, tout éclaircir, par des faits et par des phénomènes qu'il doit savoir trouver et mettre en évidence : il fait parler son sujet. Aucun phénomène, pris à part, ne s'explique de lui-même; mais s'il est bien observé, bien disposé, c'est par ses relations qu'on en acquiert l'intelligence. Il ne faut jamais perdre de vue que chaque phénomène a sa raison, que chaque effet a sa cause.

L'opinion qui prétend que la force naturelle de la création est toute-puiseante pour produire, sans semence, avec des roches tombées en efflorescence, et avec des substances végétales en putréfaction, les plantes les plus variées, et même des animaux ; celle de l'horreur du vide; celle du *spiritus rector;* la supposition qu'il se produit du fer et du phosphore dans le corps vivant de l'animal, toutes ces idées ne viennent que d'un défaut de recherches, et ne sont autre chose que des déductions de l'i-

gnorance, de la paresse, et de l'incapacité où l'on est pour remonter aux origines ou aux causes. Une simple observation, ou mille qui sont sans liaison, n'ont aucune force de démonstration. Nous n'avons pas le droit d'imaginer des causes d'après notre fantaisie, lorsqu'il nous arrive, dans le cours de nos études, d'échouer sur la route; et quand nous voyons que l'infusoire sort d'un œuf, il ne nous reste plus qu'à nous demander de quelle manière il se propagc.

Du moment que nous laissons à l'imagination le soin de nous conduire, et que nous lui réservons de prononcer sur les questions qui restent encore à résoudre, l'esprit de recherche perd son droit, et la vérité reste inconnue. Toutefois c'est là le moindre inconvénient; le pire, c'est lorsque l'imagination met à la place de la vérité un monstre opiniâtre, plein de malice et d'envie, c'est-à-dire l'erreur, qui déclare la guerre à la vérité, qui la combat, qui s'efforce de l'anéantir quand elle essaie enfin de se frayer un chemin. Il en fut ainsi du temps de Galilée, et aujourd'hui même il en est encore ainsi partout, dans toutes les sciences où on laisse prévaloir des opinions sur des démonstrations. Au lieu que, si, reconnaissant notre imperfection, nous avouons qu'avec nos ressources actuelles nous n'avons pu résoudre telle question, ou expliquer tel phénomène, le sujet reste alors à l'état de problème, et mille personnes viennent, après nous, y essayer leurs forces avec zèle et courage. Il en résulte que, plus tôt ou plus tard, le problème est résolu.

Une fois que l'esprit se contente d'une explication, s'il a pris une erreur pour une chose juste, son activité

se repose, absolument comme s'il était en possession de la vérité elle-même.

L'arbitraire crée, dans cent mille cas, cent mille erreurs; rien n'est plus nuisible qu'une vieille erreur aux progrès de la science, rien n'amortit plus l'intelligence, attendu qu'il devient beaucoup plus difficile de réfuter une doctrine fausse, lorsqu'elle repose sur la conviction que le faux est le vrai.

Assurément il était peu convenable, dans une étude rationnelle de la nature, d'expliquer, dans l'organisme, des fonctions de conformation, de nutrition et de sécrétion, avant de connaître les aliments et les sources d'où ils proviennent; avant d'avoir soumis à des recherches positives l'*albumine, la matière caséeuse, le sang, la bile, la substance cérébrale*, etc. Autrement ce ne sont là que des noms dont on connaît tout au plus les lettres; avant de connaître leurs propriétés et leur manière d'agir, avant d'avoir reconnu les métamorphoses qu'ils éprouvent quand ils sont en contact avec d'autres corps, enfin, et pour tout dire en un seul mot, avant de les avoir fait parler, devait-on s'attendre à ce qu'ils nous apprissent quelque chose?

La cause des phénomènes de la vie est une force qui n'agit pas à des distances commensurables; on ne peut en observer l'action que lorsqu'on a mis l'aliment, ou le sang, directement en contact avec l'organe qui est propre à les admettre ou à leur faire subir des changements. C'est d'une manière tout-à-fait semblable que se manifeste la force chimique elle-même; il n'y a pas, dans la nature, de causes capables d'opérer des mouvements et des transformations, pas de forces qui aient

plus de rapports entre elles que la force chimique et la force vitale. Nous savons qu'il y a action chimique toutes les fois que l'on met, en général, des corps hétérogènes en contact. Ce serait renverser toutes les règles déduites de l'étude de la nature, que de supposer qu'une des forces les plus puissantes ne prend aucune part aux fonctions de l'organisme vivant, bien que ce soit précisément ici que se réunissent toutes les conditions dans lesquelles la nature manifeste son activité. Nous sommes loin d'avoir des raisons pour admettre que la force chimique se subordonne à la force vitale au point que ses effets disparaissent à nos observations; nous voyons, au contraire, que la force chimique de l'oxigène, par exemple, est en pleine activité d'une manière incessante; c'est ainsi que l'*urée*, l'*allantoïne*, l'*acide des fourmis*, *celui des scarabées aquatiques*, l'*acide oxalique*, l'*huile essentielle de la racine de valériane*, l'*huile de la fleur de la spiræa ulmaria*, l'*huile volatile essentielle de la gaultheria procumbens*, sont, il est vrai, des produits des fonctions de la vie; mais devons-nous en conclure que ces produits sont ceux de la force vitale?

Par la seule action de la force chimique, nous sommes en état de produire nous-mêmes toutes ces combinaisons; avec les excréments des serpents et ceux des oiseaux, nous produisons, en chimie, la substance cristalline qu'on rencontre dans la liqueur allantoïque de la vache; avec du sang réduit en charbon, nous faisons de l'urée; avec de la sciure de bois, du sucre, de l'acide formique, de l'acide oxalique; avec l'écorce de saule, nous produisons l'huile volatile de la *spiræa*

ulmaria, celle de la *gaultheria* ; et avec la pomme de terre, l'huile volatile de la racine de valériane.

Voilà assez d'expériences pour fonder l'espoir que nous parviendrons à produire, avec toutes leurs pro priétés, la *quinine* et la *morphine*, et les combinaisons dont l'*albumine* ou la *fibrine* des muscles se trouvent composées.

Si nous voulons distinguer les effets qui appartiennent à la force chimique, de ceux qui appartiennent à la force vitale, nous nous trouverons sur la voie pour acquérir des données sur la nature de cette dernière. Jamais le chimiste ne sera capable de produire un œil, un cheveu, une feuille. Cependant nous savons avec certitude que la formation de l'acide prussique, que celle de l'huile essentielle d'amandes amères dans ces amandes, que l'huile de sénevé et la sinapisine dans la moutarde, que la formation du sucre dans la semence en germination, sont les résultats d'une décomposition chimique. Nous voyons qu'un ventricule de veau mort, agit, au moyen d'un peu d'acide chlorhydrique, sur la viande et sur l'albumine coagulée, de la même manière que celui qui est vivant; que les deux substances sont dissoutes, c'est-à-dire digérées. Tous ces faits nous autorisent à tirer cette conséquence : qu'en suivant la voie de l'étude de la nature, nous arriverons, un jour, à avoir des idées claires sur les métamorphoses qu'éprouvent les aliments dans l'organisme, et sur les effets des médicaments.

Sans une étude exacte de la chimie et de la physique, ni la physiologie ni la médecine n'auront aucune lumière pour leurs problèmes les plus importants, pour

ceux qui ont pour objet les recherches des lois de la vie, et les moyens de corriger et de prévenir les altérations qui affectent l'état normal de l'organisme. On ne saurait approfondir la nature de la force vitale. Le médecin qui se fonde sur la science ne peut attendre de secours de la chimie qu'autant qu'il est en état de poser au chimiste des questions absolues et parfaitement définies.

L'industrie a tiré de la connaissance de la chimie des avantages immenses. La minéralogie est devenue une science nouvelle depuis qu'elle a pris en considération la composition des minéraux et la manière dont leurs parties constituantes se comportent. Il est impossible d'espérer des progrès pour la géologie, si, comme on l'a fait jusqu'ici, on ne prend pas en plus grande considération, et de la même manière que cela se fait en minéralogie, la propriété et la composition chimique des diverses espèces de roches. La chimie est la base de l'agriculture; si l'on ne sait se rendre compte des parties constituantes du sol, si l'on ignore comment les végétaux se nourrissent, il ne faut pas songer à établir jamais l'agriculture sur une base scientifique.

S'il ne possède pas de connaissances en chimie, l'homme d'état doit rester étranger à la vie réelle de l'état, à son développement organique, et à son perfectionnement; s'il est privé de ces connaissances, son coup d'œil est émoussé, son esprit reste endormi sur tout ce qui est véritablement utile, ou nuisible à son pays et à l'humanité. Les intérêts matériels les plus importants; la plus grande production, dans les conditions les plus avantageuses, de tout ce qui sert à la nour-

riture des hommes et des animaux; la conservation et le rétablissement de la santé publique; tous ces faits se lient, de la manière la plus intime, à la propagation et à l'étude des sciences naturelles, et notamment à celles de la chimie. Si l'esprit de l'homme ignore les lois et les phénomènes de la nature, il échoue dans sa tentative de se faire une idée de la bonté et de la sagesse impénétrable du Créateur; car tout ce que peuvent se représenter l'imagination la plus riche, l'esprit le plus cultivé, n'est, en comparaison de la réalité, qu'une bulle de savon aux mille couleurs, changeante et sans consistance.

Dans l'organisation des écoles où les sciences naturelles tiennent le premier rang comme objets de l'enseignement, le besoin de notre époque s'est déjà manifesté d'une manière pratique; il en résultera une génération plus puissante; le jugement et l'esprit se fortifieront; ils deviendront, par là, capables et susceptibles de tout ce qui est véritablement grand et fructueux. Par eux, les ressources des États se développeront, leur richesse et leur puissance grandiront; et lorsque l'homme, soulagé du fardeau de son existence, ne se sentira plus accablé par les difficultés qu'il éprouve à supporter, et à écarter les soucis de la vie terrestre, alors seulement son esprit plus lucide et plus épuré pourra s'adresser à des sujets plus élevés, et aux plus élevés.

DEUXIÈME LETTRE.

Manière fausse des anciens d'observer les phénomènes de la nature. — Connaissance vraie de la nature. — Elle sert d'intermédiaire au christianisme. — Méditations sur les merveilles de la nature. — Connaissance de la nature, source de la connaissance de Dieu.

L'histoire de l'homme est le miroir où se reflète le développement de son esprit; elle nous fait voir dans ses actes, ses fautes et ses vices, ses vertus, ses nobles facultés et ses imperfections. L'étude de la nature nous apprend à connaître l'histoire de la toute-puissance, de la perfection, de la sagesse impénétrable d'un être infiniment plus sublime dans ses œuvres et dans ses actes. Sans la connaissance de cette histoire, le perfectionnement de l'homme ne saurait se concevoir; sans elle, son âme immortelle ne saurait arriver à la conscience

de toute sa dignité, et du rang qu'elle occupe dans l'univers.

La religion des Grecs et des Romains, le paganisme, tirait son origine d'une intuition incomplète et fausse des phénomènes naturels. L'esprit, l'œil des anciens est resté fermé à la notion des causes immédiates de ces phénomènes; ils adressaient leurs prières à la nature dans les plus grossières manifestations de sa puissance. Toute superstition nous ramène au paganisme.

La science de la nature tire précisément sa haute valeur de ce qu'elle sert d'intermédiaire au christianisme. La partie divine de l'origine de la doctrine chrétienne réside en ce que nous ne sommes pas redevables de la possession de ses vérités, et de la juste idée qu'elle nous donne d'un être élevé au-dessus de tous les mondes, aux moyens empiriques de recherche dont l'homme dispose, mais bien à une lumière venue de plus haut.

L'espace, dans lequel les systèmes des mondes se meuvent, est sans limites; qu'y aurait-il au-delà d'un tel mur de séparation? Le nombre de ces mondes est infiniment grand, on ne pourrait l'exprimer par des chiffres. Un rayon de lumière fait soixante-quinze mille lieues dans une seconde; il y a bien des secondes dans une année, et il y a des étoiles fixes dont la lumière met plus de mille fois mille millions d'années pour arriver jusqu'à notre œil. Nous connaissons des animaux qui ont des dents, des organes pour se mouvoir et pour digérer, et qui sont invisibles à l'œil nu; il y en a d'autres qui, quant à leurs dimensions, sont plus

mille fois plus petits, et qui sont munis des mêmes appareils ; ainsi que les animaux de plus en plus grands, ils prennent leur nourriture, et ils se propagent par des œufs qui doivent être plusieurs centaines de fois encore plus petits que leur propre corps. Ce n'est que l'insuffisance de l'organe de notre vue qui nous empêche d'observer des créatures qui sont des milliards de fois plus petites.

Quelles gradations et quelles différences les parties constituantes de notre globe n'offrent-elles pas dans leur état et dans leurs propriétés! Il y a des corps qui sont vingt fois plus lourds qu'un égal volume d'eau; il y en a d'autres qui sont dix mille fois plus légers, et dont les plus petites parties ne sont plus perceptibles à notre œil aidé du plus puissant microscope; enfin, dans la lumière, ce merveilleux messager qui nous annonce, chaque jour, que des mondes sans nombre continuent d'exister, nous trouvons la manifestation d'un être surnaturel qui n'est plus soumis à la loi de la gravité, et qui, toutefois, se rend perceptible à nos sens par d'innombrables effets. La lumière du soleil, en arrivant sur la terre, y donne à la nature morte la vie et le mouvement; nous la divisons en rayons qui, dépouillés de leur clarté, produisent dans la nature organique les changements et les décompositions les plus puissants; nous la décomposons elle-même en une variété de rayons de chaleur qui offrent, dans leur ensemble, des diversités aussi grandes que celles des couleurs. Toutefois, en quoi que ce soit, nous ne voyons ni commencement ni fin. L'esprit de l'homme n'aperçoit de limite, dans la nature, ni au-dessus

ni au-dessous de lui ; et, dans cet infini qui, par son immensité, est à peine compréhensible à son intelligence, pas une seule goutte d'eau ne tombe à terre, pas un seul atome ne change de place sans y être forcés.

L'homme n'observe nulle part, excepté en lui, une volonté qui ait conscience d'elle-même ; il voit que tout est dans les entraves des lois fixes, invariables, immuables de la nature ; ce n'est qu'en lui qu'il reconnaît quelque chose qui peut dominer tous ces effets, une volonté qui peut commander à ces lois, un esprit qui est libre dans les jugements qu'il porte sur leur puissance, et qui, dans toute sa perfection, ne se donne qu'à lui-même des lois.

Une simple notion empirique de la nature nous pousse, avec une force irrésistible, à cette conviction : que ce *quelque chose* dont nous parlons n'est pas la dernière limite en dehors de laquelle il n'existe plus rien qui lui ressemble, et qui soit plus parfait ; il y a des gradations, et ce ne sont que les inférieures, et même les plus inférieures, qui sont accessibles à notre observation. Ainsi, notre raison fonde cette vérité, comme toutes celles qu'elle établit par induction dans l'étude de la nature : qu'il existe, au-dessus de nous, un Être plus sublime, un Très-Haut, que nos sens sont impuissants à voir et à reconnaître, et que nous ne concevons dans sa grandeur et dans sa sublimité que par le perfectionnement des instruments de notre intelligence.

La science de la nature est la voie qui nous fournit les moyens d'arriver à ce perfectionnement intellectuel.

L'histoire de la philosophie nous apprend que les hommes les plus sages, que les plus grands penseurs de

l'antiquité et de tous les temps, ont considéré comme une ressource tout-à-fait indispensable à la culture de l'esprit, l'intelligence du principe qui préside aux phénomènes de la nature, et la connaissance de ses lois. La physique faisait partie de la philosophie. C'est par la science que l'homme soumet les forces de la nature à ses ordres, c'est dans l'empirisme qu'il reste sous leur dépendance. L'empirique sans science, restant au niveau d'un être subordonné, n'emploie jamais qu'une faible partie de sa propre force au profit de la société. Les effets gouvernent sa volonté, tandis qu'il pourrait les dominer, si sa vue plus pénétrante pouvait saisir les liens cachés qui les rattachent à leurs causes.

Cette introduction ne sera pas jugée hors de propos quand j'essaierai, dans la lettre suivante, d'expliquer une des lois les plus remarquables de la nature, celle qui sert de fondement à la chimie moderne.

Lorsqu'un petit fragment d'os, une dent, deviennent, pour le savant en anatomie comparée, un livre par lequel il nous raconte l'histoire d'une créature ayant appartenu à un monde bouleversé, et par lequel il nous décrit les dimensions, la forme de cette créature, le milieu dans lequel elle vivait et respirait, son genre de nourriture, si celle-ci était composée de plantes ou d'animaux; lorsque ce savant nous montre enfin, dans ce livre, les appareils par lesquels l'être qu'il décrit devait se mouvoir, on pourrait appeler tout cela le jeu d'une imagination déréglée. Soit que l'origine de ce petit fragment d'os, de cette dent, soit un caprice du hasard, ou que leurs formes et leurs propriétés soient dues à une volonté, tout ce que nous venons de dire

est possible à l'anatomiste, parce que la forme de chaque partie est due à des lois fixes, et que cette forme, une fois reconnue, c'est la loi qui a construit le tout. Il ne paraîtra pas moins étonnant à beaucoup de gens que, du rapport du poids connu avec lequel un corps particulier se combine avec un autre, le chimiste conclue et détermine les rapports de poids dans lesquels ce corps se combinera avec tous les autres, ou avec un nombre indéfini d'autres corps. La découverte de ces lois, auxquelles viennent se subordonner tous les faits susceptibles de nombre et de mesure, dans le monde organique aussi bien que dans le règne minéral, et qui règlent et dominent toutes les opérations de la chimie, cette découverte, disons-nous, est, sans contredit, l'acquisition la plus importante, et la plus féconde en conséquences, dont se soit enrichi notre siècle.

TROISIÈME LETTRE.

Des forces chimiques. — Affinité. — Combinaisons chimiques. — Classification des éléments. — Métaux et métalloïdes. — Effet de la chaleur sur les combinaisons chimiques. — Comment on détruit la cohésion. — Dissolution, moyen puissant pour l'analyse.

Pour se faire une idée nette de l'ordre et de la merveilleuse régularité avec lesquels les corps se combinent, il faut se rappeler ce que le chimiste entend par les mots de combinaison ou de décomposition. Le fer qui se rouille, les couleurs qui pâlissent à l'air, la séparation des métaux de leurs minerais, les innombrables produits du commerce et de l'industrie, la préparation des médicaments, en un mot, toutes les formes nouvelles, ou tous les phénomènes qui s'offrent à nos sens quand nous mettons en contact des corps différents,

proviennent, sauf un très petit nombre d'exceptions, ou d'une combinaison ou d'une décomposition. Les causes dernières de ces nouvelles formes et de ces phénomènes, sont les forces chimiques, lesquelles diffèrent de toutes les autres en ce que nous ne reconnaissons leur existence que parce qu'elles ne se manifestent qu'au contact direct des corps ; elles ne produisent pas d'effet toutes les fois que les corps sont placés à une distance appréciable. Cette classe de phénomènes limite le domaine de la chimie ; la pesanteur, la force électrique, la force magnétique, la chaleur, ont de l'influence sur les actions chimiques, mais c'est comme forces qui agissent à distance, qui produisent des mouvements et des changements de place, et, en général, des phénomènes dont la nature et les lois font le sujet des recherches de la physique, prise dans le sens plus restreint du mot.

Si le fer se rouille à l'air, si le soufre et le mercure forment le cinabre, c'est la force chimique qui agit sur les particules du fer et sur une partie constituante de l'air, sur les particules du soufre et sur celles du mercure, de manière qu'il en résulte un changement dans leurs propriétés, et qu'il se forme un nouveau corps avec des propriétés nouvelles et tout-à-fait différentes ; alors cette force a donné lieu à une *combinaison chimique*.

Avec du cinabre que nous chauffons avec du fer, nous obtenons de nouveau du mercure ; avec de la rouille de fer que nous calcinons avec du charbon, nous obtenons de nouveau du fer métallique ; nous *décomposons* ainsi le cinabre au moyen du fer, et la

rouille du fer au moyen du charbon; la cause agissante est toujours la force chimique; les résultats obtenus reposent toujours sur la formation d'une combinaison; le fer qui a séparé le mercure s'est combiné avec le soufre; nous avions auparavant du mercure sulfuré, nous obtenons maintenant du sulfure de fer; le charbon qui a dépouillé le fer de sa rouille, et qui nous a redonné du fer métallique, est entré en combinaison avec la partie constituante de l'air dont le fer s'était emparé en se rouillant. Le nombre indéfini des décompositions chimiques des corps composés, c'est-à-dire la séparation de l'une de leurs parties constituantes, provient toujours d'un nouveau corps qui s'ajoute, et qui entre en combinaison avec d'autres parties constituantes. Il est évident que tous ces corps ne pourraient, dans les conditions données, éprouver aucune sorte de changement dans leurs propriétés, si la cause que nous avons désignée par le nom de force chimique n'exerçait aucune action sur leurs particules. On a nommé cette force chimique *affinité*, c'est-à-dire *parenté*, expression contraire à l'usage des langues et au sens qu'il fallait exprimer. On dit que deux corps ont de l'affinité entre eux, lorsque, étant mis en contact l'un avec l'autre, ils manifestent de la tendance à se combiner ensemble. C'est une manière de s'exprimer tout-à-fait fausse, si l'on veut dire, par là, que ces corps ont entre eux des rapports de parenté.

Si l'on réunissait en bloc, sur une table, les cinquante-six corps simples, un enfant pourrait les séparer en deux grandes classes d'après leurs propriétés extérieures; il ferait une première classe de ceux qui possè-

dent un aspect métallique, et une seconde classe de tous ceux qui n'offrent point cet aspect. Les corps de la première classe constituent les *métaux;* ceux de la seconde se nomment des *métalloïdes*. Ces deux grandes classes peuvent être encore subdivisées en groupes plus petits, selon leur plus ou moins de ressemblance dans les autres propriétés. Les corps composés offrent aussi, dans leurs propriétés, des ressemblances et des différences; et si on les range par familles, et qu'on mette ensemble tous ceux qui dérivent d'un même père ou d'une même mère, on trouve alors que les membres d'une même famille manifestent très peu de tendance, et qu'ils n'ont souvent pas la moindre disposition à former de nouvelles unions; ils sont rangés d'après leurs propriétés apparentes, mais ils n'ont point d'attraction, point d'affinité l'un pour l'autre; au contraire, les membres de deux familles qui s'éloignent beaucoup l'une de l'autre par leurs propriétés, s'attirent toujours de la manière la plus énergique.

C'est ainsi que les combinaisons que forment deux membres d'une même famille ont des vertus et des défauts de famille qui peuvent être facilement reconnus à un degré assez marqué, et même souvent très prononcé. Cependant, lorsque deux tiges tout-à-fait opposées s'allient entre elles, il en résulte toujours un corps qui ne laisse plus reconnaître les signes de la parenté.

Ainsi, pour l'arbre généalogique, le fer et le mercure (deux métaux) sont beaucoup plus rapprochés que le fer et le soufre, ou que le mercure et le soufre (un métal et un métalloïde). Dans une combinaison de

deux premiers corps, on reconnaît de suite leur origine; mais qui est-ce qui pourrait supposer, dans le cinabre, le métal liquide et blanc comme de l'argent, et le soufre jaune et inflammable qui le composent? Il en résulte que, dans les combinaisons elles-mêmes, il y a divers degrés d'affinité par lesquels on désigne toujours la capacité inégale, ou la tendance inégale de leurs parties à se combiner ensemble : or, c'est sur ces différents degrés d'attraction que reposent toutes les décompositions.

Nous avons déjà dit que, pour que l'affinité chimique se déclare, il est absolument indispensable que les particules des corps se touchent, ou qu'elles ne se trouvent plus qu'à une distance infiniment petite. Tout le monde connaît l'effet que la chaleur produit sur les corps. Un clou de fer enfoncé dans un mur, et rendu aussi fixe que possible, s'en détache peu à peu, et finit par tomber. C'est que le fer est plus chaud en été qu'en hiver, qu'il écarte alors avec beaucoup de force le bois et la pierre, et qu'en hiver il se contracte beaucoup plus que la pierre ou le bois. La dilatation, par la chaleur, suppose que les particules d'un corps s'éloignent les unes des autres, et l'attraction, par la chaleur, qu'elles se rapprochent. Puisqu'une certaine proximité des particules est une condition nécessaire pour que l'affinité chimique se déclare, on conçoit facilement que beaucoup de combinaisons chimiques doivent être réduites en leurs parties constituantes par le simple effet de la chaleur, et cela arrive effectivement chaque fois que, par la chaleur, l'éloignement de leurs particules finit par devenir plus grand que n'est la sphère de leur attrac-

tion chimique ; il en résulte alors nécessairement une séparation. Si la chaleur vient à diminuer, les particules se rapprochent de nouveau, et à un certain degré de proximité il survient une nouvelle combinaison. Nous pouvons nous figurer que lorsque les corps sont portés à des températures tellement élevées, qu'elles soient, pour nous, hors de toute mesure, ils puissent se trouver dans le même espace sans se combiner ensemble, quoiqu'ils soient mutuellement doués de l'affinité la plus forte, attendu que la chaleur détruit l'affinité et qu'elle l'empêche de se manifester. Il a été sans doute une époque où notre globe terrestre possédait une température excessivement élevée, et où ses parties constituantes étaient arrangées d'une manière toute différente ; il n'est pas impossible d'imaginer que ces parties aient nagé à l'état de chaos, et que ce chaos ait produit les roches et les minéraux tels qu'ils existent actuellement, à mesure que la température s'est abaissée par le refroidissement. Supposons que, par l'effet de la chaleur, tous les éléments du globe terrestre soient mis dans l'état où se trouvent l'oxigène et l'hydrogène à la température ordinaire ; la terre serait alors un globe immense tout composé de gaz, qui se mélangeraient partout uniformément sans qu'il y eût entre eux aucune combinaison, ainsi que cela arrive pour l'oxigène et pour l'hydrogène, malgré leur affinité si prononcée. A la température de 350 degrés, le mercure se combine avec l'oxigène de l'air, et forme une poudre rouge cristalline ; à 400 degrés, cette poudre se décompose en oxigène et en vapeur de mercure.

Quand nous fondons ensemble, dans un creuset, un mélange de fer et de plomb avec du soufre, le fer

sépare du plomb et se combine avec le soufre ; tant qu'il reste encore une trace de fer avec le plomb, aucune particule de soufre ne se combine avec le plomb, mais bien avec le fer ; quand tout le fer s'est uni avec le soufre, alors seulement le soufre se combine avec le plomb. Comme on le comprend facilement, les deux métaux ont de l'affinité pour le soufre ; toutefois celle du fer est beaucoup plus grande que celle du plomb. Il en résulte encore que quand on fond ensemble (ce que l'on fait en grand) du fer avec du plomb sulfuré (la galène, qu'on rencontre dans la nature), le plomb se sépare fondu à l'état de métal pur, et le fer se combine avec le soufre, pour lequel il possède une affinité beaucoup plus grande.

Le fer chauffé au rouge décompose le cinabre d'une manière toute semblable, et, en se combinant avec le soufre, il en expulse le mercure ; toutefois, dans ce cas, l'affinité du fer pour le soufre n'est pas la seule cause de la décomposition. Personne n'a vu, jusqu'ici, du mercure chauffé jusqu'au rouge, comme l'est, par exemple, le fer dans la forge du forgeron. C'est que, tandis que le fer reste alors dans le feu, le mercure, dans les mêmes conditions, se convertit en une vapeur invisible ; ses parties acquièrent, par la chaleur, la faculté de prendre l'état de gaz. Cette faculté, dans un corps, de pouvoir prendre l'état de gaz, consiste dans la propriété ou la tendance qu'ont ses parties de se repousser ou de s'écarter avec effort, et cette tendance maintient les corps dans leurs combinaisons chimiques. Le mercure possède la faculté de s'évaporer, même à la température ordinaire ; une goutte de mercure s'évapore suc-

cessivement; elle a besoin d'un temps beaucoup plus long qu'une goutte d'eau, mais elle disparaît peu à peu. Cette évaporation est accélérée infiniment par la chaleur. Le cinabre ne s'évapore pas dans les mêmes conditions, ce qui vient évidemment de ce qu'il y a une résistance qui s'oppose à la tendance du mercure à prendre l'état aériforme et à se détacher ou à s'éloigner des molécules de soufre; telle est l'affinité chimique du soufre : c'est une résistance qui n'est pas surmontée à la température ordinaire. Si maintenant on chauffe le cinabre au degré convenable pour que le mercure devienne aériforme, on n'affaiblit pas seulement l'affinité entre le soufre et le mercure, mais, par là, on augmente aussi la tendance du mercure à se détacher des particules de soufre. Si donc alors une affinité, même faible, vient s'ajouter à la chaleur, par exemple, celle du fer pour le soufre, il en résultera, pour celui-ci, une séparation d'avec le mercure, qui n'aurait pas eu lieu sans la réunion de ces différentes circonstances. C'est ainsi que la tendance d'un corps à prendre l'état aériforme à certaines températures, joue un rôle important dans toutes les opérations de décomposition et de combinaison exécutées par le chimiste; elle augmente ou diminue les effets de l'affinité.

La faculté que possèdent les particules d'un corps de maintenir leur union contre toutes les causes qui tendent à l'anéantir, prend part, d'une manière tout-à-fait analogue, au jeu de l'affinité. Nous pouvons, par la chaleur, fondre le sucre, le sel marin, rendre leurs parties facilement mobiles dans toutes les directions, leur enlever et détruire leur état de solidité. Nous pou-

vons effectuer la même chose au moyen de l'eau; dans l'eau, où le sucre et le sel marin se fondent, ce n'est pas la chaleur, mais bien l'affinité chimique de l'eau qui détruit leur tendance à rester cohérents. Un fragment d'os calciné à blanc n'est soluble ni dans l'eau ni dans les liqueurs alcalines; la tendance de ses particules à maintenir leur état, ou, comme on dit dans ce cas, sa force de cohésion est plus grande que l'affinité de la liqueur. Le contraire a lieu dans beaucoup de liquides acides; par exemple, dans le vinaigre, il y a dissolution. Il est donc évident que quand nous mettons les parties constituantes de ce morceau d'os (acide phosphorique et chaux) en contact avec un liquide acide, si nous ne voyons s'opérer aucune espèce de changement, c'est que les deux substances, n'importe sous quelle forme, sont solubles dans la liqueur acide; mais, si on les porte dans l'eau ou dans une liqueur alcaline qui n'oppose aucun obstacle à la réunion de leurs parties constituantes en un corps solide, nous voyons alors s'amasser au fond une poudre blanche, et il en résulte, comme on dit, un *précipité.*

Le chimiste met ainsi à profit, dans les corps, la faculté inégale qu'ils ont de se dissoudre dans différents liquides, et leur manière de se conduire avec la chaleur; ce sont, pour lui, des moyens puissants pour en opérer la séparation et en faire l'analyse. Tous les minéraux, sans exception, peuvent être dissous dans des liquides choisis convenablement; en changeant la nature du liquide par l'addition de quelques autres substances, on change aussi la faculté de dissolution de ce liquide à l'égard des parties constituantes du mi-

néral, et on réussit ainsi à en séparer une partie après l'autre. C'est l'une des voies de l'analyse; l'autre consiste à ajouter successivement différentes substances à la dissolution d'une combinaison dans laquelle il entre cinq, six, ou un plus grand nombre de parties constituantes; et ces substances forment alors, avec l'une ou l'autre de ces parties constituantes, une combinaison insoluble. Tout cela se fait d'après une certaine série d'opérations, absolument comme si les diverses parties constituantes étaient renfermées dans différents petits coffres, et qu'il fallût autant de clefs pour les ouvrir.

QUATRIÈME LETTRE.

Mesure et poids des éléments qui se combinent; principal sujet de réflexion pour les chimistes. — Proportions chimiques. — Signes chimiques. — Poids d'un mélange. — Équivalents. — Équivalents d'un oxide métallique. — Équivalents d'un acide. — Formules chimiques.

Relativement à ces décompositions et à ces combinaisons, une première question à se faire, c'est de se demander combien il faut de l'un des corps pour en chasser un autre; par exemple, combien il faut de fer pour chasser le mercure du cinabre, et pour le remplacer dans sa combinaison sulfurée.

Toute question de cette nature se trouve résolue de la manière la plus satisfaisante.

Si, dans le cas cité, on prend trop peu de fer, il reste une partie de cinabre indécomposée; si le fer est pris

en quantité trop considérable, l'excédant reste en dehors de la combinaison avec le soufre.

Dans toutes ces décompositions, il est toujours nécessaire de n'employer que des quantités bien déterminées, et qui sont, dans tous les cas, invariables; ce qui ne peut reposer évidemment que sur ce que les corps se combinent entre eux dans des rapports invariables de poids, car une décomposition n'est autre chose que le résultat d'une combinaison.

J'ai besoin de 27 parties de fer pour décomposer 117 parties de cinabre; j'obtiens 101 parties de mercure et 43 parties de sulfure de fer.

Cela m'indique que

16 p. de soufre se trouvent combinées avec 101 p. de mercure, lesquelles sont séparées et remplacées par 27 parties de fer.

Il s'ensuit forcément que 27 parties de fer se sont combinées avec 16 parties de soufre.

Il arrive, maintenant, que le rapport des poids du fer et du mercure, d'après lequel les deux corps se remplacent dans leur combinaison sulfurée, ou d'après lequel ils se combinent avec le soufre, reste le même partout et dans tous les cas où l'un des corps est substitué à l'autre, ou remplacé par lui. Lorsque le mercure est séparé et remplacé dans toute autre combinaison quelle qu'elle soit, dans celle du mercure avec l'oxigène, ou avec le chlore, l'iode, le brôme, etc., il me faut alors, toujours et invariablement, 27 parties de fer pour autant de fois 101 parties de mercure; de plus, l'expérience démontre que, quand 101 parties de mercure entrent, d'une manière quelconque, en combinaison avec un corps dont le poids est représenté par *a*, le

poids *a* de ce corps entre également en combinaison avec 27 parties de fer.

Tout cela ressort d'expériences positives, dans lesquelles les chimistes ont fait leurs déterminations la balance à la main; et ces proportions fixes ne se montrent pas seulement pour le petit nombre de corps que nous venons de citer, mais nous les observons partout, et pour tous les corps. C'est ainsi, par exemple, que

16 de soufre se combinent avec 8 d'oxigène,
et avec............................. 1 d'hydrogène,

et que toutes les fois que, dans une combinaison, l'hydrogène est remplacé par l'oxigène, ou bien l'oxigène par l'hydrogène, on observe qu'il se combine autant de fois 1 partie, en poids, d'hydrogène, qu'il y a de fois 8 parties, en poids, d'oxigène, et qu'il se combine autant de fois 8 parties, en poids, d'oxigène, qu'il y a de fois 1 partie, en poids, d'hydrogène.

Mais, non seulement les rapports des poids de l'hydrogène et de l'oxigène restent égaux, l'un à l'égard de l'autre, dans les autres combinaisons, mais aussi le rapport du poids du soufre, c'est-à-dire ses relations de poids avec ces deux corps, restent encore invariablement *fixes*; de sorte que lorsque, dans une combinaison quelconque de soufre, celui-ci est remplacé par de l'oxigène ou par de l'hydrogène, il entre alors, à la place du soufre, la moitié de son poids d'oxigène, ou la seizième partie de son poids d'hydrogène.

1 d'hydrogène se combine avec................ 16 de soufre.
Ces 16 de soufre peuvent être remplacés par 8 d'oxigène.

Le résultat de ce remplacement est la combinaison de 8 d'oxigène avec 1 d'hydrogène, formant 9 d'eau; ou bien :

8 d'oxigène se combinent avec.............. 16 de soufre.
Ces 16 de soufre peuvent être remplacés par 1 d'hydrogène.

Il en résulte encore une combinaison de 1 d'hydrogène avec 8 d'oxigène.

On comprend aisément que quand on connaît quel est le poids d'un corps qui se combine avec deux, trois, quatre, ou un plus grand nombre d'autres corps (car on peut toujours les accoupler deux à deux), on comprend aisément, disons-nous, que ces poids expriment aussi les quantités dont ces différents corps se combinent entre eux. 16 de soufre se combinent avec 8 d'oxigène, avec 1 d'hydrogène, avec 101 de mercure, avec 27 de fer; mais 8 d'oxigène se combinent exactement aussi avec 101 de mercure, avec 27 de fer, etc., pour former un oxide de mercure, de fer, etc. En un mot, quand on connaît le rapport dans lequel un corps, n'importe lequel, se combine avec tous les autres corps, on sait alors en quelle quantité tous les corps se combinent entre eux s'ils sont généralement doués de cette capacité, c'est-à-dire s'ils ont de l'affinité l'un pour l'autre. Le tableau suivant n'a presque pas besoin d'explication.

Oxigène.....	O.	8.	Potassium.....	K.	39,2.
Hydrogène.	H.	1.	Calcium.......	Ca.	20,5.
Carbone.....	C.	6.	Silicium.......	Si.	14,8.

Soufre.......	S.	16.	Plomb.........	Pl.	103,8.
Azote........	N.	14.	Cuivre.........	Cu.	31,8
Phosphore..	P.	31,4.	Mercure......	Hg.	101,4.

Ces nombres expriment les quantités, en poids, de quelques corps simples (connus de tous), qui se combinent entre elles, ou, si l'on veut, ils expriment les poids qui se remplacent dans les combinaisons de ces corps.

Ce qui mérite surtout attention, c'est que ces rapports ne changent point, même dans les cas où l'un de ces corps forme plus d'une combinaison avec un deuxième, un troisième, etc. C'est ainsi que 14 d'azote se combinent avec 8 d'oxigène pour former le protoxide d'azote, qui est un gaz; il y a une deuxième combinaison qui donne encore un gaz, lequel est incolore, et forme des nuages rouges quand il se trouve en contact avec l'air; cette deuxième combinaison contient 14 d'azote, et 16 d'oxigène (2 fois 8); il y a une troisième combinaison qui contient 24 (3 fois 8) d'oxigène; une quatrième en contient 32 (4 fois 8); et une cinquième, l'acide azotique, qui en contient 40 (5 fois 8), *toujours* sur 14 d'azote. C'est, de même, ainsi que le carbone se combine avec l'oxigène en deux proportions; la première combinaison donne lieu à un gaz inflammable, et renferme, sur 6 de carbone, 8 d'oxigène; l'autre, sur 6 de carbone, renferme 16 d'oxigène; cette dernière combinaison forme l'acide carbonique si généralement connu.

Dans tous les cas où les éléments peuvent former une

combinaison quelconque, ces rapports se montrent fixes, invariables.

Il résulte de l'analyse du vinaigre, qu'il renferme, sur 100 parties en poids, 47,06 de carbone, 5,88 d'hydrogène, et 47,06 d'oxigène. Sachant combien d'oxigène et d'hydrogène sont combinés avec 47,06 de carbone, rien n'est plus facile que de calculer combien il y a d'oxigène et d'hydrogène pour 6 de carbone; il me suffit pour cela d'une simple règle de trois, et je vois que sur 6 de carbone, il y a 3/4 d'hydrogène, et 6 d'oxigène; ou, en nombres entiers, que sur 24 de carbone (4 fois 6), il y a 3 d'hydrogène (4 fois 3/4), et 24 d'oxigène (3 fois 8).

Ou bien encore, je sais combien de carbone et d'hydrogène se trouvent combinés avec 47,06 d'oxigène dans le vinaigre, et je calcule quelles quantités de ces deux éléments correspondent à 8 d'oxigène (ou à tout autre des nombres invariables ci-dessus); j'obtiens que, pour 8 d'oxigène, il y a 1 d'hydrogène et 8 de carbone, lesquelles quantités prises trois fois donnent le même rapport.

La composition de toutes les combinaisons chimiques, sans exception, peut être exprimée de la même manière par des nombres fixes qu'on appelle pour cette raison *poids de mélange*, et qui, considérés sous le rapport de leur remplacement mutuel, portent le nom d'*équivalents*. Ils expriment, en effet, les quantités qui, dans les corps, entrent en mélange (ou pour mieux dire en combinaison); ou bien celles qu'il faut pour produire des résultats égaux, des effets égaux. Pour produire une action chimique, dans un but quelconque, j'ai besoin

de 8 d'oxigène; et quand, au lieu d'oxigène, je puis et je veux employer du soufre dans le même but, j'ai toujours besoin de 16 de soufre; ces deux poids de mélange expriment des valeurs égales pour l'effet.

La connaissance de la loi de la nature qui se manifeste dans ces rapports fixes de combinaison, a conduit les chimistes à former une langue par signes, qui leur permet d'exprimer, au moyen d'une formule extrêmement simple, la composition d'une combinaison, le remplacement de l'un de ses éléments, et, en général, la manière dont ils pensent que les éléments sont arrangés. C'est-à-dire qu'ils sont convenus entre eux de désigner les éléments, et leurs équivalents, par les lettres initiales de leurs noms latins, de manière que *O* (lettre initiale de *oxigenium*) désigne non seulement l'oxigène, mais aussi la quantité de 8 parties, en poids, de cet oxigène, ni plus ni moins. *H* représente une partie, en poids, d'hydrogène; *S* désigne seize parties, en poids, de soufre. On conçoit aisément à quelle facilité cela conduit. Il ne serait pas possible, même à la mémoire la plus heureuse, d'avoir toujours présente la compotion, en centièmes, d'une demi-centaine de combinaisons, tandis que rien n'est plus facile que de se rappeler ces signes, ou ces formules, dont l'intelligence est si simple. La composition de l'eau (dans laquelle, sur 100 parties, il y a 88,889 d'oxigène, et 11,111 d'hydrogène), le chimiste l'exprime par HO; une quantité double, il la désigne par 2HO; une quantité triple par 3HO, etc. Il exprime l'oxide de carbone par CO; l'acide carbonique par CO_2; il désigne l'acide acétique par $C_4H_3O_3$; et la combinaison de l'acide acétique avec de

l'eau par $C_4H_3O_3$+HO. L'éther est exprimé par C_4H_5O; l'alcool par C_4H_5O+HO.

Parmi les corps composés, il y a plusieurs groupes qui manifestent des propriétés semblables, ou un caractère chimique analogue, et qui peuvent se remplacer mutuellement dans leurs combinaisons. Les propriétés du groupe qu'on désigne par le nom d'*acides*, sont connues de tout le monde ; on connaît peut-être moins le groupe qui porte le nom de *bases*, et par lequel on désigne, en général, une combinaison qui a la faculté d'enlever, de neutraliser les propriétés acides des acides. La combinaison d'un acide avec une base porte le nom de *sel*, sans égard pour la saveur. Une base peut remplacer, dans un sel, une autre base; un acide un autre acide; et, d'après une observation plus exacte des proportions dans lesquelles se remplacent les oxides des métaux qui appartiennent aux bases, il est démontré qu'il faut, pour ce remplacement, des poids très inégaux des différentes bases. Pour séparer 10 parties d'une base, il en faut 15 d'une autre, 25 d'une troisième, etc. Maintenant, lorsque 10 parties de la première base renferment 5 parties d'oxigène, il est encore démontré que les 15 parties de la deuxième base, et les 25 parties de la troisième, renferment pareillement 5 parties d'oxigène, ni plus ni moins. Les quantités d'oxigène des bases métalliques qui se remplacent, restent invariablement les mêmes; seulement, les métaux qui se trouvent combinés avec cet oxigène se remplacent d'après leurs équivalents : ainsi, pour 39,2 de potassium qui se séparent, il entre 101,4 de mercure dans la combinaison.

Les chimistes sont convenus d'appeler chaque quantité d'un oxide métallique qui contient 8 parties, en poids (= 1 équivalent), d'oxigène : *un équivalent d'oxide métallique*, sans avoir aucun égard au nombre d'équivalents de métal qui s'y trouvent.

Si donc l'on connaît la quantité d'acide dont on a besoin pour former, avec 1 équivalent de base, un sel neutre, cette quantité d'acide reste exactement la même pour chaque équivalent d'une autre base, parce que les autres bases contiennent exactement autant d'oxigène que la première, et parce que leur remplacement mutuel ne se règle que d'après cette quantité d'oxigène. On s'est encore accordé pour appeler la quantité d'acide qui sature 1 équivalent de base : *un équivalent d'acide.*

Si l'on est une fois familiarisé avec ces données, il devient alors facile de comprendre pourquoi les chimistes désignent la composition de l'acide acétique par la formule $C_4H_3O_3$, et non par la formule $C_2H_{1\frac{1}{2}}O_{1\frac{1}{2}}$, ou de toute autre manière. Si nous calculons les nombres que ces signes représentent (C_4 = quatre fois 6 = 24 carbone; H_3 = 3 hydrogène ; O_3 = trois fois 8 = 24 oxigène); il en résulte, en somme, le nombre 51. Ces cinquante et une parties d'acide acétique sont les quantités, en poids, d'acide acétique qui se combinent avec 1 équivalent d'oxide métallique (ou 1 équivalent quelconque) pour former un sel. La formule d'un acide est ordinairement relative à l'équivalent de base; celle d'une base, à 1 équivalent d'acide; celle d'une autre composition quelconque est toujours relative au rapport des poids, dans lequel ses éléments se sont combinés avec les

équivalents connus et déterminés d'un autre corps. Dans beaucoup de cas, les formules n'expriment que les rapports mutuels de deux ou de plusieurs corps.

Pour comparer les combinaisons chimiques sous le rapport de leur composition; pour comprendre leurs changements, leurs transformations, et leurs décompositions; et pour les représenter sans autre explication, ce langage des signes est d'une valeur inappréciable.

J'ai fait une analyse de l'acide acétique, et je veux voir si les nombres que j'ai trouvés dans l'expérience sont justes : j'exprime alors les résultats de cette expérience, c'est-à-dire les quantités trouvées, de carbone, d'hydrogène, et d'oxigène, en nombres d'équivalents. Ces derniers ont été déterminés avec toute l'exactitude imaginable, et plus mes nombres trouvés sont d'accord avec eux (on appelle cela s'accorder avec le calcul), plus j'ai de confiance dans mon analyse; mais si mes nombres diffèrent, il faut que je suppose une erreur, et mon travail doit être commencé de nouveau. Je trouve ainsi, dans les nombres des équivalents, des contrôleurs sévères de l'analyse chimique; ces nombres m'annoncent : ou qu'une erreur a été commise, ou que la substance que j'ai employée ne possédait pas le degré convenable de pureté. Tout le monde saura traduire la formule suivante :

$C_{14}H_6O_2$ huile d'amandes amères.
$C_{14}H_6O_4$ acide benzoïque.

L'huile d'amandes amères, exposée à l'air, en reçoit de l'oxigène, et se convertit en acide benzoïque.

A l'aspect des deux formules, on voit le rapport qui existe entre elles ; ce rapport, traduit en valeurs numériques, donne exactement l'expression quantitative de cette transformation.

C_4H_5O éther.

$C_4{}^{H_3}_{O_2}O$ acide acétique.

L'éther, dans l'alcool, en s'unissant à l'oxigène, se convertit en acide acétique. On voit facilement, par ces formules, que la transformation consiste en ce que 2 équivalents d'hydrogène de l'éther se sont séparés, et qu'ils ont été remplacés par 2 équivalents d'oxigène. Tout cela est d'une grande simplicité, et l'on comprendra maintenant aisément ce qui a été annoncé au commencement de cette lettre : que lorsqu'on fait la découverte d'un nouveau métal, ou celle d'un nouveau métalloïde, il suffit de déterminer quelle quantité de ce métal se combine avec 8 d'oxigène, ou quelle quantité de ce métalloïde se combine avec 39,2 de potassium, pour reconnaître, par le nombre obtenu, le poids avec lequel ce nouveau corps se combinera avec les autres corps. L'équivalent du *lanthane*, celui du *didyme*, deux nouveaux métaux qui ont été récemment découverts dans le cérite, et celui du brôme, qui a été découvert depuis quelques années dans l'eau de mer, n'ont pas été déterminés d'une autre manière.

Dans les faits, ou dans la manière d'agir des corps, tels que je viens de les exposer, le caprice d'une imagination créatrice n'a pas pris la moindre part;

chaque nombre est le résultat d'une multitude d'analyses faites avec beaucoup de soins, mais qui cependant ne sont pas venues d'elles-mêmes se mettre d'accord avec la loi importante qui vient d'être signalée. Il a fallu trouver la clef de cette loi, et c'est la sagacité d'un Allemand qui l'a découverte : le nom de *Richter* sera aussi impérissable que la science elle-même.

CINQUIÈME LETTRE.

Causes des proportions chimiques. — **Théorie atomique.**

On s'imaginera facilement que la question du *pourquoi*, c'est-à-dire que la raison de la fixité et de l'invariabilité de tous ces poids, ait dû préoccuper l'esprit philosophique des chimistes. Il faut qu'il y ait une cause qui rende impossible l'union des éléments dans d'autres rapports; qui oppose un obstacle insurmontable à une diminution, ou à une augmentation de ces éléments. Les rapports fixes sont des manifestations de cette cause; mais, avec eux, le domaine des recherches se trouve borné; la cause elle-même n'est pas rendue perceptible à nos sens, elle ne peut être que l'objet de la spéculation, c'est-à-dire de cette faculté par laquelle notre esprit peut s'en faire une idée.

Tandis que je vais essayer de développer l'opinion qui, en ce moment, est généralement adoptée sur lès proportions chimiques, il ne faut pas oublier que la fausseté ou la vérité de cette opinion n'est point du tout relative à la loi elle-même; celle-ci reste toujours vraie comme expression de l'expérience; elle ne change pas, quels que soient les changements que puisse éprouver la manière de se la représenter.

Une manière très ancienne de se représenter la nature de la matière, et à laquelle on a donné le nom d'*atomistique*, est, en effet, extrêmement propre à rendre sensible l'intelligence des proportions chimiques; elle suppose, savoir : que, dans un espace occupé par un corps solide, liquide, ou gazeux, toutes les parties de cet espace ne sont pas remplies par une seule masse solide, par de la matière, mais que chaque corps a de petits pores qui ne ressemblent pas précisément à ceux du bois qui sont visibles, mais qui sont infiniment plus petits. D'après cette opinion, un corps se compose de très petites particules qui se tiennent à une certaine distance l'une de l'autre; entre deux de ces petites particules, il existe donc un espace qui n'est pas rempli par la matière du corps.

La probabilité de cette idée frappe les yeux: nous pouvons comprimer un volume d'air dans un espace mille fois plus petit, et de même, par la puissance d'une compression mécanique, les corps solides et les liquides occupent aussi un espace plus petit. Une bille, jetée avec une certaine force sur un corps dur, s'aplatit, et après avoir rebondi, elle reprend la forme sphérique. Tous les corps occupent, par l'effet de la chaleur, un

espace plus grand, et par le refroidissement, un espace moindre.

Il résulte évidemment de ces expériences bien connues, que l'espace juste qu'occupe un corps dépend de circonstances fortuites; qu'il change avec les causes qui tendent à le rendre ou plus grand ou plus petit. Si l'on se figure maintenant qu'à l'endroit où se trouve une petite particule de matière, celle qui, dans le corps, occupe l'espace proprement dit, il n'y a plus de place simultanément, ni pour une deuxième, ni pour une troisième petite particule, cela conduit immédiatement à l'idée que l'augmentation ou la diminution du volume d'un corps est la conséquence de la distance plus ou moins grande à laquelle ses petites particules occupent l'espace. Il est évident que, dans une livre d'eau, les parties de l'eau sont plus rapprochées l'une de l'autre que dans une livre de vapeur, qui, sous la pression ordinaire, occupe un espace 1700 fois plus grand.

Cette manière de concevoir les corps facilite l'intelligence de beaucoup de phénomènes qui, quoique simples, n'ont pu être expliqués jusqu'ici par aucun autre système de représentation.

La théorie atomique suppose, de plus, que les petites particules dont la masse d'un corps est formée ne sont plus divisibles en parties plus petites; c'est pour cela qu'on a donné à ces plus petites particules le nom d'*atomes*.

Il est tout-à-fait impossible à l'esprit d'imaginer que de petites particules de matières soient absolument indivisibles; elles ne peuvent pas être infiniment petites, c'est-à-dire, dans le sens mathématique, sans aucune

dimension, puisqu'elles ont du poids; or, quelque faible qu'on suppose ce poids, nous ne pouvons pas concevoir qu'il soit impossible de fendre une petite particule en deux moitiés, en trois, en cent parties. Cependant nous pouvons encore nous représenter que ces atomes ne sont indivisibles que physiquement, de sorte que ce n'est que relativement à nos observations qu'ils se comportent comme n'étant plus capables d'une plus grande division. Un atome physique serait, dans ce sens, un groupe de plusieurs particules beaucoup plus petites, qui seraient retenues ensemble, pour former un tout, par une force, ou par des forces plus puissantes que toutes celles dont nous pouvons disposer sur la terre pour opérer une division plus considérable.

Il en est de ces atomes, et de ce que le chimiste en conçoit, comme de ce qu'il nomme les *éléments*. Les 56 corps simples connus ne sont des éléments que relativement aux forces et aux moyens qui sont à notre disposition pour les décomposer en des corps encore plus simples. Nous ne le pouvons pas, et, pour rester fidèles aux principes de l'étude de la nature, nous les appellerons des corps simples jusqu'à ce que l'expérience vienne nous convaincre qu'on peut faire mieux. L'histoire de la science est, sous ce rapport, riche en enseignements utiles. Des sauts en arrière, des erreurs et de fausses opinions sans nombre, furent toujours les conséquences immédiates de toute prétention à sortir du domaine de l'expérience. Sans contester la divisibilité de la matière à l'infini, le chimiste ne fait que se tenir sur le terrain solide, sur le sol stable de sa

science, lorsqu'il admet l'existence des atomes physiques comme une vérité tout-à-fait incontestable.

Un professeur de Tubingen a rendu cette idée sensible par une pensée ingénieuse ; il compare les atomes aux globes célestes, qui, relativement à l'espace dans lequel ils flottent, sont infiniment petits, c'est-à-dire des atomes. Les innombrables soleils, avec leurs planètes et leurs satellites, se meuvent à des distances limitées les uns par rapport aux autres, et ils sont indivisibles quant à l'existence de forces qui pourraient en détacher quelque chose de matériel, ou qui auraient le pouvoir de changer tellement leurs formes et leurs dimensions, que leurs rapports avec les autres corps célestes en fussent dérangés ; mais ils ne sont pas indivisibles considérés à part. L'univers présente, dans ce sens, un grand corps dont les atomes, les corps célestes, sont indivisibles et invariables.

D'après le point de vue atomique, un morceau de verre, ou de cinabre, ou de fer, etc., consiste donc en une quantité d'atomes de verre, de cinabre ou de fer, dont l'adhérence dépend de la force de cohésion ; et la plus petite particule que l'on puisse en imaginer est toujours du fer ; néanmoins, pour le cinabre, nous savons, avec la plus grande certitude, qu'une petite particule de cinabre, qui n'est physiquement plus divisible en parties plus petites, se compose de parties plus petites encore, qui sont de petites particules de soufre et de mercure, dont nous connaissons même les proportions en poids telles qu'elles existent pour les deux corps.

Le fer est composé d'atomes homogènes de fer ; le cinabre est composé d'atomes homogènes dont chacun

est du cinabre: cependant ces derniers ne sont pas simples comme ceux du fer, ils sont susceptibles d'une plus grande division. Ils sont homogènes pour nos sens, mais nous savons qu'ils sont composés. En broyant, pulvérisant, ou limant un morceau de cinabre, nous pouvons le diviser en particules beaucoup plus petites; mais nous n'avons nullement le pouvoir de surmonter, par des moyens mécaniques, la force qui retient ensemble les particules hétérogènes, les parties constituantes d'un atome composé. C'est en cela que l'affinité chimique se distingue de la force de cohésion; elle ne manifeste son action qu'au contact d'atomes hétérogènes, et comme les atomes ne peuvent se pénétrer mutuellement, il s'ensuit forcément que les atomes composés résultent de la juxtaposition des atomes simples, par suite de la force d'affinité qui agit sur eux. Ils se groupent par deux, par trois, par centaines, etc., et chacun de ces groupes constitue une partie homogène de toute la masse. Nous pouvons donc nous figurer que la plus petite particule de cinabre est formée de deux atomes, dont l'un est un atome de mercure, et dont l'autre est un atome de soufre.

Si l'on considère que mille livres de cinabre renferment les mêmes proportions de soufre et de mercure qu'une livre, ou qu'un gramme, et si l'on se figure qu'un morceau de cinabre renferme un million d'atomes de cinabre, il est évident que dans un seul atome, de même que dans un million, il y a toujours, pour tous les atomes, 16 de soufre et 101 de mercure. Si nous décomposons le cinabre par du fer, l'atome de mercure se sépare, et sa place est occupée par un atome de fer.

Si c'est le soufre que, dans le cinabre, nous remplaçons par de l'oxigène, un atome d'oxigène se met à la place de l'atome de soufre.

D'après cette idée sur la composition des corps, et sur le remplacement mutuel de leurs atomes, on comprend facilement que les nombres qui représentent les équivalents, n'expriment pas autre chose que le poids relatif des atomes. Savoir combien pèse un seul atome, déterminer son poids absolu, ce n'est pas une chose possible ; mais on peut bien savoir combien un atome apporte plus de poids qu'un autre dans une combinaison chimique, c'est-à-dire connaître le poids relatif des atomes. Si j'ai besoin de 16 parties de soufre pour remplacer 8 parties d'oxigène, ou d'une quantité d'oxigène double en poids, c'est que l'atome de soufre est deux fois plus lourd que l'atome d'oxigène. Si je n'ai besoin, en hydrogène, que d'un huitième du poids de l'oxigène, c'est que l'atome d'hydrogène est huit fois plus léger. C'est ainsi que l'oxide de carbone est un groupe de deux atomes ; l'acide carbonique un groupe de trois atomes ; et que la première combinaison renferme, pour un atome de carbone, un atome d'oxigène, tandis que l'acide carbonique renferme deux atomes d'oxigène pour un seul atome de carbone.

L'immutabilité des rapports fixes de poids dans lesquels les corps se combinent, explique la théorie qui admet l'existence de particules indivisibles dont les poids sont inégaux, et qui, dans la combinaison chimique, ne se pénètrent pas, mais se juxtaposent.

Les nombres des équivalents, dans leur signification propre, expriment des valeurs égales quant aux effets,

c'est-à-dire qu'ils expriment les poids qu'il faut des différents corps, pour produire, dans une combinaison chimique, des effets égaux; et nous nous rendons ces effets sensibles, en les attribuant à de petites particules indivisibles, qui occupent un certain espace et qui possèdent une certaine forme. Nous n'avons aucun moyen pour nous assurer du nombre véritable d'atomes qui entre dans la combinaison même la plus simple, car il faudrait, pour cela, que nous pussions les voir et les compter. C'est pour cette raison que, malgré toute la conviction que nous avons de l'existence des atomes physiques, la supposition que les nombres des équivalents expriment véritablement les poids relatifs de ces atomes pris isolément, n'est réellement qu'une hypothèse pour laquelle nous n'avons pas d'autres preuves.

Un atome de cinabre renferme, sur 101 de mercure, 16 de soufre; les chimistes admettent que ces rapports expriment le poids relatif d'*un* atome de mercure et celui d'*un* atome de soufre. C'est là une simple hypothèse. Même il pourrait se faire que 101 de mercure représentassent le poids de deux, de trois, de quatre atomes de mercure, et d'un plus grand nombre encore. S'il y en avait deux, un atome de mercure devrait être représenté par 50,5; s'il y en avait trois, il devrait l'être par le nombre 33,6. Dans le premier cas, nous dirions que le cinabre est formé de deux atomes de mercure (ou de deux fois 50,5), et de un atome de soufre; dans le deuxième cas, nous dirions qu'il est formé de trois atomes (ou de trois fois 33,6) de mercure et d'un atome de soufre.

Quelque supposition que l'on fasse à cet égard, qu'il

y ait deux, trois, etc., atomes de mercure ou de soufre, la composition du cinabre n'en reste pas moins ce qu'elle est : seulement, le moyen de se la représenter d'une manière sensible changerait selon l'opinion hypothétique que l'on se ferait sur le nombre des atomes qui entrent dans une combinaison chimique. Il sera donc toujours préférable de proscrire tout ce qui est hypothétique du langage chimique des signes, dont le but n'est que de rendre claires et facilement intelligibles les compositions, les substitutions, les transformations et les décompositions qui s'opèrent dans les diverses combinaisons. Il ne faut pas que la manière d'écrire les formules devienne une expression susceptible d'offrir des idées variables. Le nombre des équivalents des parties constituantes qui entrent dans une combinaison chimique est invariable, et on peut le déterminer; tandis que le nombre proprement dit des atomes qui se combinent dans un équivalent ne sera jamais déterminé. Cependant il n'y aura pas le moindre inconvénient à prendre les équivalents pour le poids des atomes, toutes les fois qu'il s'agira de considérations théoriques ou d'un moyen d'éclaircir les idées. Pris dans ce sens ces nombres n'expriment, cela va sans dire, que les différences de poids des atomes, ou combien de fois un atome est plus pesant qu'un autre. Dans les nombres employés jusqu'ici, on a pris pour unité de poids la quantité, en poids, d'hydrogène qui se trouve combinée dans l'eau avec l'oxigène. L'eau, sur 1 partie, en poids, d'hydrogène, contient 8 parties, en poids d'oxigène; si l'on suppose maintenant que l'eau est composée d'un atome d'hydrogène et d'un atome d'oxi-

gène, et si l'on suppose, de plus, qu'on a toujours besoin d'un atome, ni plus ni moins, d'un autre corps, pour remplacer un atome d'hydrogène et un atome d'oxigène, alors les poids employés des autres corps exprimeront le poids de leur atome, en nombres qui se rapporteront naturellement tous à 1 partie, en poids, d'hydrogène, ou à 8 parties, en poids, d'oxigène. Si l'on multiplie le nombre de chaque équivalent par 12 1/2, on obtient, pour le nombre exprimant l'équivalent d'hydrogène, 12,5; pour celui exprimant l'équivalent d'oxigène, on aura 100; et les autres nombres exprimeront de même alors combien il faut des divers autres corps pour remplacer 100 d'oxigène, ou 12 1/2 d'hydrogène. En multipliant ainsi tous les équivalents par un seul et même nombre, on ne change nullement les rapports dans lesquels ils se trouvent les uns à l'égard des autres, et il est tout-à-fait indifférent que l'on prenne pour unité le nombre relatif à l'hydrogène, ou celui qui se rapporte à l'oxigène = 100.

SIXIÈME LETTRE.

Quelques considérations de plus sur les atomes. — Forme des atomes. — Forme des cristaux. — Cristallisation confuse des sels ; sa cause. — Forme égale des cristaux, ou égale constitution atomique. — Isomorphisme. — Poids spécifique. — Volume des atomes.

D'après l'idée que nous nous faisons des atomes, il faut qu'ils occupent un certain espace et qu'ils aient une certaine forme ; de leur combinaison réciproque il résulte des atomes composés qui occupent naturellement un espace, ou plus grand, ou plus petit, que les atomes simples pris ensemble ; selon leur composition, ou selon la manière dont les atomes sont arrangés, la forme doit subir des changements. Ce n'est, bien entendu, que dans les corps cristallisés, dont les plus petites particules possèdent une certaine forme déterminée, qu'il est possible d'observer le rapport qui existe

entre la forme du cristal et sa composition. On a fait là-dessus des observations très intéressantes que voici : lorsque deux sels, ayant chacun une forme de cristallisation différente, cristallisent dans un seul et même liquide, les cristaux de l'un des deux sels se forment parfaitement, comme si l'autre sel n'existait pas dans le liquide. Si nous jetons une poignée de nitre et de sel marin dans une quantité d'eau suffisante, les deux sels s'y dissolvent; si nous mettons la solution sur un poêle chaud, l'eau s'évapore peu à peu, et les deux sels se déposent de nouveau, sous forme de cristaux, au fond du vase, et l'on peut distinguer, à l'œil nu, les cubes du sel marin, et les prismes qui appartiennent au nitre. Si nous retirons du liquide un cristal de sel marin, et si nous le lavons un peu avec de l'eau pure, nous voyons que le cristal ne renferme pas la moindre trace de nitre, et que le nitre, de son côté, n'offre pas, non plus, la moindre trace de sel marin. Si l'on considère maintenant que les deux cristaux se sont formés simultanément dans le même liquide, il résulte évidemment de la propriété même des cristaux, que les particules du sel marin, en formant un cristal, n'ont attiré que des particules de sel marin; tandis que celles du nitre n'ont attiré, de leur côté, que des particules de nitre, et qu'il y a eu, en cela, augmentation de volume. Lorsque enfin toute l'eau a été évaporée, il reste un mélange intime de sel marin et de nitre; toutefois, dans ce mélange, chaque cristal isolé de sel marin se trouve séparé des cristaux isolés du nitre.

Si l'on met, dans un peu d'eau chaude, du sulfate magnésie et du nitre, et si l'on décante la liqueu

turée de ces deux sels, il se forme, pendant un refroidissement lent, un dépôt de cristaux de sulfate de magnésie et de cristaux de nitre; mais les cristaux isolés du nitre ne contiennent pas de sulfate de magnésie, ni les cristaux isolés du sulfate de magnésie ne contiennent pas de nitre. Il est évident que, dans ce cas encore, les particules du sulfate de magnésie n'ont eu aucune espèce d'attraction pour les particules du nitre; nous devons croire, au contraire, qu'il y a eu entre elles une espèce de répulsion; car, autrement, les molécules du nitre et celle du sulfate de magnésie, ou celles du nitre et du sel marin, ne se seraient pas déposées l'une à côté de l'autre, mais bien, par couches, l'une sur l'autre.

Il n'en est pas de même avec le sulfate de magnésie et le sulfate de nickel ou de zinc: lorsqu'ils cristallisent tous deux dans un seul et même liquide, on n'observe aucune séparation entre le sulfate de zinc et le sulfate de magnésie; mais les cristaux formés contiennent, en même temps, du sulfate de zinc et du sulfate de magnésie, ou du sulfate de nickel et du sulfate de magnésie, et cela dans toutes les proportions possibles, suivant les quantités des deux sels qui se sont trouvées en présence dans la solution. On comprend aisément que les particules de sulfate de zinc, et que celles de sulfate de magnésie, qui se séparent, ont une attraction commune, et évidemment une attraction tout-à-fait égale, car un cristal de sulfate de magnésie a attiré une particule de sulfate de zinc, de la même manière que si celle-ci avait été une particule de sulfate de magnésie, et réciproquement; il n'y a pas eu une espèce de choix, comme entre le sel marin et le nitre.

Si l'on compare maintenant un cristal de sulfate de nickel avec un cristal de sulfate de magnésie, on découvre qu'ils possèdent tous les deux une forme de cristallisation identique ; que le cristal de sulfate de magnésie paraît comme s'il était un cristal blanc de sulfate de nickel, et que le sulfate de nickel paraît comme s'il était du sulfate vert de magnésie ; on ne saurait y apercevoir aucune différence, ni dans les angles, ni dans les sommets, ni sur les bords. Or, puisqu'un grand cristal consiste dans une agrégation de cristaux de plus en plus petits, il faut nécessairement que le dernier corpuscule de sulfate de nickel, ait la même forme que le dernier ou le plus petit corpuscule de sulfate de magnésie, ou, ce qui revient au même, il faut que le groupe des atomes qui se sont réunis pour constituer un atome de sulfate de zinc, ou de sulfate de nickel, ait la même forme que le groupe qui constitue un atome de sulfate de magnésie. C'est ainsi que le cristal, dans lequel les deux groupes se trouvent réunis l'un à côté de l'autre, possède la forme qui caractérise chacune de ses parties constituantes (le sulfate de magnésie, le sulfate de nickel ou le sulfate de zinc).

D'autres observations ont démontré que l'égalité de forme, dans la cristallisation de deux corps, n'est pas la seule raison qui fait qu'ils cristallisent ensemble, et qui fait que la forme de leurs cristaux mélangés est la même que celle de leurs parties constituantes.

C'est ainsi qu'un cristal de salmiac possède la même forme géométrique qu'un cristal d'alun, et cependant, dissous dans un seul et même liquide, i' cristallisent tous deux séparément l'un de l'autr

cristaux d'alun qui s'y forment ne contiennent pas de salmiac, et les cristaux de salmiac ne contiennent pas d'alun; c'est évidemment parce que, malgré la forme identique des plus petits cristaux, la force avec laquelle les corpuscules d'alun s'attirent entre eux, ou celle avec laquelle les corpuscules de salmiac s'attirent aussi entre eux, est beaucoup plus grande que la force attractive qui agit entre les corpuscules de salmiac et ceux d'alun, car cette dernière force ne se manifeste pas à l'observation.

Si l'on compare maintenant la composition des combinaisons qui ne cristallisent pas ensemble, quoique ayant une forme de cristallisation identique, avec la composition de celles qui, dans les mêmes circonstances, forment des cristaux mélangés, on découvre que les premiers ont une composition dissemblable, tandis que la composition des autres est semblable en tout point. Ainsi, le sulfate de magnésie, le sulfate de zinc, le sulfate de nickel, renferment un nombre tout-à-fait égal d'atomes composés, au point qu'un cristal de sulfate de magnésie ne diffère des deux autres, qu'en ce que ces derniers renferment un atome de nickel, ou de zinc, au lieu d'un équivalent ou d'un atome de magnésium; de sorte que nous obtenons du sulfate de zinc, ou de nickel, quand nous expulsons le magnésium d'un cristal de sulfate de magnésie, et que nous le remplaçons par un équivalent ou de zinc, ou de nickel.

Le salmiac ne renferme que deux atomes composés d'après ses parties constituantes; tandis que l'alun, qui cristallise sous la même forme, contient trente atomes composés. On ne saurait se figurer une constitution

plus dissemblable : ils ne cristallisent pas ensemble

Dans toutes les recherches qui ont été faites plus tard, on a toujours trouvé que la ressemblance dans la constitution dénote, dans beaucoup de cas, une forme identique dans les cristaux; que lorsque deux combinaisons, qui ont, dans leurs cristaux, une forme identique, donnent des cristaux mélangés possédant la même forme géométrique, elles sont, pour la plupart, d'une composition également semblable, c'est-à-dire qu'elles renferment un nombre égal d'atomes (ou d'équivalents) disposés de la même manière. Dans les cas où deux sels, dont les cristaux sont de forme différente, cristallisent ensemble, il arrive toujours que la forme du cristal mélangé est identique avec celle de l'un des deux sels, et que sa constitution est semblable à celle de ce sel. C'est ainsi que d'un mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc (deux sels d'une forme différente, et d'une constitution dissemblable) on obtient des cristaux mélangés qui possèdent la forme du sulfate de cuivre, ou celle du sulfate de zinc, selon que la quantité de l'un ou de l'autre se trouve en excès; et l'on démontre que, quant à leur composition, les premiers sont semblables au sulfate de cuivre, les autres au sulfate de zinc.

Les plus beaux exemples qui démontrent que la forme des cristaux est, dans beaucoup de combinaisons, tout-à-fait indépendante de la différence des éléments, nous sont fournis par les aluns; ce sont des corps par lesquels on désigne des combinaisons qui possèdent une constitution semblable à celle de l'alun ordinaire, dont les parties constituantes sont de l'acide

sulfurique, de l'alumine, de la potasse et de l'eau. L'alun cristallise en beaux octaèdres réguliers. Nous pouvons lui enlever l'alumine, et la remplacer par l'oxide de fer, par celui de chrôme, ou par celui de manganèse, sans qu'il y ait rien de changé ni dans sa forme, ni dans sa constitution. L'alun de fer (c'est-à-dire qui contient de l'oxide de fer au lieu d'alumine) est incolore, et il n'offre pas de différence avec l'alun d'alumine dans ses propriétés extérieures L'alun de chrôme ne s'en distingue en rien non plus, si ce n'est par sa couleur d'un noir rougeâtre, et l'alun de manganèse par sa couleur violette. Quand on dépose un cristal d'alun de chrôme dans une solution d'alun ordinaire d'alumine saturée à froid, à mesure que l'eau s'évapore lentement, il se forme des couches de petits cristaux d'alun d'alumine sur les surfaces du cristal d'alun de chrôme, absolument comme si les petits cristaux étaient des particules de chrôme. La surface qui augmente le plus vite dans ses dimensions, est celle qui touche le fond du vase ; et si l'on retourne chaque jour le cristal, et que l'on fasse augmenter régulièrement toutes les surfaces, on obtient, à la fin, un octaèdre régulier d'alun d'alumine, blanc et transparent, au centre duquel se trouve, comme noyau, un octaèdre régulier noir rougeâtre d'alun de chrôme.

Nous pouvons aussi, d'une manière toute semblable, séparer de l'alun l'acide sulfurique, et le remplacer, soit par l'acide chrômique, soit par l'acide sélénique dont la composition est semblable ; nous pouvons ensuite y remplacer la potasse par l'oxide d'ammonium, sans changer le moins du monde sa forme de cristallisation.

Et il est démontré que ce n'est pas seulement dans cet exemple de l'alun que la forme de la nouvelle combinaison reste invariable, mais que c'est partout et dans tous les cas où l'alumine, l'oxide de fer, l'oxide de chrome, l'oxide de manganèse, ou bien l'acide sulfurique, l'acide chromique et l'acide sélénique, ou bien encore la potasse et l'oxide d'ammonium, se remplacent dans les combinaisons : seulement, dans le cas où, par suite de ces remplacements, une nouvelle partie constituante se trouve ajoutée, ou une de celles qui existaient se trouve expulsée, on voit que la forme du cristal change aussi, parce que sa constitution devient alors dissemblable.

On a signalé successivement tous les corps qui, dans des combinaisons semblables, se remplacent sans que le cristal change de forme, et on les a rangés par groupes ; ces corps ont reçu la dénomination de substances *isomorphes* (d'égale forme), laquelle désigne très bien cette propriété. On dit, par exemple, que le *chlore*, le *brome*, l'*iode*, le *cyanogène*, le *fluor*, ou bien que la *chaux*, la *magnésie*, le *protoxide de fer*, le *protoxide de manganèse*, sont *isomorphes* ; ce qui veut donc dire que celles de leurs combinaisons qui sont composées d'une manière semblable donnent des cristaux d'une égale forme, et que ces corps peuvent se remplacer dans les combinaisons sans apporter aucun changement dans la forme du cristal.

Il n'échappera à personne qu'un cristal d'alun peut renfermer des quantités tout-à-fait indéfinies et variables de peroxide de fer et d'alumine, ou de potasse et d'oxide d'ammonium, sans qu'il cesse, pour cette

raison, d'être un cristal d'alun, et d'être considéré comme de l'alun; que c'est justement la propriété des substances isomorphes que de pouvoir se remplacer, non pas dans des proportions particulières et invariables, mais bien dans tous les rapports possibles. La manière de se comporter de ces combinaisons, telle que nous venons de l'exposer, parut contrarier la loi, alors déjà connue, des proportions fixes et constantes des combinaisons chimiques; toutefois, avec la connaissance de la dernière cause, celle de l'égalité de forme et d'une égale attraction entre les molécules, les effets se sont expliqués de la manière la plus simple et la plus satisfaisante.

Cette belle découverte, qui fut faite par un Allemand, a été notamment très importante et très significative pour la minéralogie. On rencontrait des embarras et des difficultés sans nombre, quand on essayait de classer les minéraux d'après leurs parties constituantes et d'après leur composition; les chimistes les plus consciencieux se contredisaient sur la constitution des minéraux les mieux caractérisés. C'est ainsi que l'un trouvait, dans le grenat d'Arendal, plus de 13 pour cent de magnésie, lequel manquait entièrement dans le grenat de Fahlun, dans celui du Vésuve, etc. L'analyse du grenat noble donnait 27 pour cent d'alumine, tandis qu'on ne pouvait en trouver une trace dans le grenat jaune d'Altenau.—Quelles étaient donc les parties constituantes qui entraient dans le grenat? qu'était-ce que sa composition proprement dite?—Toutes ces difficultés se sont débrouillées d'une manière bien simple: là où l'alumine a manqué, il s'est trouvé l'oxide

isomorphe de fer; là où c'est la magnésie qui a fait défaut, c'est la chaux isomorphe qui s'est trouvée à sa place; et il a été démontré que le grenat renferme des quantités variables d'oxides isomorphes, d'oxides de fer, et d'alumine; ou bien de chaux, de protoxide de manganèse, de protoxide de fer; lesquels peuvent se remplacer mutuellement sans que la combinaison change de forme.

Des mesures plus exactes des cristaux ont démontré, plus tard, que les combinaisons semblables des substances isomorphes n'affectent pas toujours très exactement la même forme; que les angles plans ne sont pas par conséquent toujours identiques; et ç'a été incontestablement le plus beau fondement de nos opinions sur l'existence des atomes, que d'avoir pu expliquer ces déviations par des observations qui se rattachent à la théorie atomique.

En effet, si nous rendons sensible qu'un cristal résulte d'une juxtaposition d'atomes, dont chacun possède une certaine forme, et que la forme de tout cristal est dépendante de la forme de ses plus petites parties, l'atome de l'alumine occupera, dans l'atome de l'alun, un certain espace. Si nous retirons de ce cristal l'atome d'alumine, et si nous mettons à sa place un atome d'oxide de fer, le cristal d'alun conservera sa forme géométrique si l'atome d'oxide de fer a la même forme que celle de l'atome d'alumine, mais seulement alors; s'il est de même grandeur, si son volume est égal au volume de l'atome d'alumine, la forme du cristal d'alun restera absolument la même. Cependant si, en général, l'oxide isomorphe ne remplit pas exac-

tement l'espace qui a été occupé par l'oxide remplacé, si son volume est plus petit ou plus grand, il faut que cette différence se manifeste dans les pentes respectives des bords du cristal vers son axe.

On est parvenu, par un moyen très ingénieux, à comparer l'espace qu'occupent, dans une combinaison, les atomes des substances isomorphes qui se remplacent. Tout le monde sait que les corps, solides, liquides, et gazeux, possèdent, sous un volume égal, un poids très inégal. Nous comparons involontairement l'espace qu'occupe un morceau de bois, avec celui qu'occupe un morceau de plomb qui a exactement les mêmes dimensions, lorsque nous disons que le bois est plus léger que le plomb. Une livre de bois pèse exactement autant qu'une livre de plomb; toutefois un pouce cube de plomb est plus de onze fois plus lourd qu'un pouce cube de bois. Ces différences de poids que les corps présentent, sous un volume égal, ont été déterminées avec beaucoup de précision par les physiciens, et elles ont été exprimées par des nombres; ce sont, comme on le sait, les *nombres des poids spécifiques*. De même qu'on peut comparer les poids de deux corps, en évaluant combien de fois une unité de poids connue (par exemple, le poids d'une livre) est contenue dans la masse de chacun des deux corps, sans avoir aucun égard à l'espace qu'ils occupent, de même aussi, d'après une convention faite pour la détermination des poids spécifiques des corps, on emploie une unité de poids *d'un volume connu*. On exprime combien de fois un corps pèse plus qu'un autre, sous un volume égal, par un nombre qui se rapporte au poids d'une masse d'eau

occupant le même espace. C'est donc le poids d'un égal volume d'eau qui sert de mesure; c'est là l'unité de poids; et le nombre qui indique le poids spécifique d'un corps, exprime combien de fois ce corps pèse plus, ou moins, ou combien de fois l'unité de poids y est contenue sous un égal volume.

Pour déterminer le poids d'un corps, sans avoir aucun égard à son volume (c'est-à-dire son poids absolu), nous le portons sur un des plateaux d'une balance, et nous mettons, dans l'autre plateau, autant d'unités de poids (par exemple, autant de livres) qu'il en faut pour que les deux plateaux se fassent équilibre; il est tout-à-fait indifférent que les unités de poids soient de plomb, de fer, de platine, de bois, ou de toute autre matière quelle qu'elle soit. Si nous imaginons maintenant qu'au lieu du poids d'une livre ou d'une once de fer, nous mettions le poids d'une livre ou d'une once d'eau; si nous supposons qu'après avoir placé le corps sur l'un des plateaux de la balance, nous versions de l'eau dans l'autre jusqu'à ce que les deux plateaux se fassent parfaitement équilibre, nous aurons alors exprimé le poids du corps en onces et en livres d'eau. Maintenant si nous comparons l'espace qu'occupe le corps pesé, avec l'espace qu'occupe la masse d'eau qui pèse autant que ce corps, nous saurons alors exactement combien de fois l'eau, à poids égal, occupe plus ou moins d'espace que l'autre corps.

Si nous portons sur l'un des plateaux de la balance un pouce cube de fer, nous aurons besoin, pour établir l'équilibre, de 7 3/4 pouces cubes d'eau: donc, 1 pouce cube d'eau est 7 3/4 de fois plus léger

que 1 pouce cube de fer, ou, ce qui est la même chose, 1 pouce cube de fer est 7 3/4 de fois plus lourd que 1 pouce cube d'eau (1).

De même, si nous portons sur l'un des plateaux de la balance 100 parties, en volume, d'huile de térébenthine, et si nous rétablissons l'équilibre avec de l'eau, nous verrons, après avoir mesuré cette eau, que 86 parties, en volume, de cette dernière, sont aussi lourdes que 100 parties, en volume, d'huile de térébenthine; ou bien que 86 parties, en poids, d'huile de térébenthine, occupent le même espace que 100 parties, en poids, d'eau; ou bien encore qu'à volume égal, l'huile de térébenthine ne pèse que les 86/100 du poids de l'eau.

Les poids spécifiques des corps ne sont autre chose que leurs poids mesurés et exprimés par le poids d'un égal volume d'eau.

(1) Mentionnons ici, seulement comme exemple, comment on peut déterminer, avec la plus grande exactitude, le volume des corps dont la détermination, au moyen des instruments qui servent à mesurer, n'est plus possible, comme, par exemple, une quantité donnée de sable. Qu'on se figure un vase pourvu d'une échelle qui nous indique rigoureusement sa capacité exprimée en pouces cubes (et dont chaque pouce cube sera encore subdivisé en 100 parties égales); si l'on remplit le vase à moitié, d'eau, et si l'on y verse ensuite le sable pesé, le niveau de l'eau s'élèvera de tout ce que le volume du sable sera venu ajouter au volume de cette eau, et la différence entre le niveau tel qu'il était avant l'introduction du sable, et le niveau actuel, indiquera quel est le volume de ce sable en pouces cubes et en centièmes de pouce cube.

Les nombres 7,75 pour le fer; 11,3 pour le plomb; 1,989 pour le soufre; 4,948 pour l'iode; 1,38 pour le chlore liquide, ont à peine besoin d'explication; ils expriment combien de fois le fer, le plomb, le soufre, l'iode, le chlore liquide, pèsent plus qu'un égal volume d'eau; la différence de poids, entre deux volumes égaux de soufre et de fer, est dans le rapport des nombres 1,989 et 7,75; celle de deux volumes égaux d'iode et de chlore, est dans le rapport des nombres 4,948 et 1,380. La différence de poids de deux corps d'un volume égal, reste, comme cela est évident, tout-à-fait la même, quelque grand ou quelque petit que nous supposions ce volume; les nombres augmentent ou diminuent avec le changement de volume, mais toujours dans le même rapport que le volume de l'un des deux corps augmente ou diminue relativement au volume de l'autre. La différence de poids entre 2 pouces cubes d'iode, et 1 pouce cube de chlore, est exprimée par deux fois 4,948 = 9,896 et par 1,380, etc.

Il existe évidemment une raison pour que les corps, sous un volume égal, donnent des poids inégaux. Or, d'après notre manière de nous représenter la constitution des corps, chacun d'eux consiste en une agrégation de particules qui ont un certain poids, dont chacune occupe un certain espace, et possède une certaine forme. La connaissance des substances isomorphes met entièrement hors de doute ce fait : que leur remplacement respectif, dans les combinaisons, sans qu'il y ait aucun changement dans la forme du cristal, repose sur ce que leurs atomes possèdent la même forme, et sont de la même grandeur; et quand nous voyons que, dans le rem

ment d'un corps par un autre, la forme de cristallisation de la combinaison n'est plus la même, il faut que nous supposions que ce changement dépend de ce que les atomes de cet autre corps possèdent un autre forme, ou de ce qu'ils ne remplissent pas le même espace dans la combinaison. D'après l'ensemble de ces considérations, nous sommes conduits à supposer que ces particules des corps, que nous appelons atomes, sont inégalement lourdes, ou inégalement grandes ; par cette supposition, le poids spécifique vient à s'expliquer d'une manière très simple : pourquoi, en effet, le plomb, à volume égal, pèse-t-il plus que le fer ; le fer plus que le soufre ; l'iode plus que le chlore ? C'est, ou que l'atome d'iode est plus lourd que celui de chlore ; ou que, dans le même espace, il y a un plus grand nombre d'atomes de plomb qu'il n'y a, par exemple, d'atomes de fer.

Lorsque nous imaginons, dans l'espace de 1 pouce cube, un nombre égal, soit, par exemple, 1000 atomes d'iode, ou de chlore, il est évident que les poids spécifiques de ces deux corps expriment les différences de poids de leurs atomes ; si le pouce cube d'iode pèse 4948 grammes, il faut que 1 pouce cube de chlore pèse 1380 grammes ; 1/1000 de pouce cube d'iode, dans lequel il ne se trouverait plus qu'un seul atome d'iode, devrait donc peser, d'après cela, 4,948 grammes, tandis que 1/1000 de pouce cube de chlore, où il ne se trouverait plus qu'un seul atome de chlore, pèserait, par la même raison, 1,380 grammes.

Mais le chlore et l'iode sont réciproquement isomorphes ; nous supposons que leurs atomes sont égale-

ment grands; et puisque, dans des volumes égaux d'iode et de chlore, il se trouve un nombre égal d'atomes de l'un et de l'autre, il fallait bien, en effet, que leurs poids spécifiques fussent réciproquement dans le même rapport que les nombres de leurs équivalents, ou que les poids de leurs atomes ; ainsi, pour expulser d'une combinaison 4,948 grammes d'iode, et les remplacer par du chlore, il faudrait exactement 1,380 grammes de chlore. Une simple règle de trois indique que c'est véritablement là le cas. Le poids spécifique de l'iode est, relativement à celui du chlore, comme 4,948 est à 1,380, ou, ce qui est tout-à-fait la même relation proportionnelle, leurs équivalents sont entre eux, comme 126 d'iode sont à 35,2 de chlore.

Ce rapport remarquable, dont on a tiré, d'une manière inattendue dans le cercle des observations philosophiques, une propriété physique (celle du poids spécifique), a été constaté dans toutes les substances isomorphes ; les nombres qui expriment leurs poids spécifiques expriment aussi les rapports de poids dans lesquels elles se remplacent dans les combinaisons; ce sont tout-à-fait les mêmes rapports que ceux que nous connaissons exprimés par les nombres des équivalents; et partout où il s'est manifesté une déviation dans les corps isomorphes, et où, par conséquent, les poids spécifiques ne se sont pas accordés exactement dans le sens que nous y attachons, cette déviation s'est trouvée indiquée par la déclivité des surfaces du cristal, par exemple, par les angles que forment ses bords avec son axe. La forme du cristal ne reste identique que quand les atomes des substances isomorphes qui se remplacent

ont tous une forme égale et un volume égal. Si le volume de l'atome qui entre est moindre que celui de l'atome qui sort, il faut que cela se manifeste par la forme que prend le nouveau cristal.

Afin de pouvoir comparer, et exprimer en nombres, pour les différents corps, les espaces qu'occupent ou remplissent leurs atomes, on a eu recours au mode d'observation que voici :

Figurons-nous que les nombres qui désignent les équivalents expriment des poids véritables ; supposons que le nombre 35,2, pour le chlore, signifie 35,2 onces de chlore ; que celui de 12,6, pour l'iode, signifie 12,6 onces d'iode ; que 27,2, pour le fer, expriment 27,2 onces de fer ; que 29,6, pour le nickel, soient 29,6 onces de nickel, et divisons chacun de ces nombres par le poids d'*un pouce cube de chlore*, d'*iode*, de *fer*, de *nickel*, ou, ce qui est la même chose, par le poids spécifique de chacun de ces corps (en prenant 1 pouce cube d'eau pour unité, 1 pouce cube de chlore pèsera alors 1,380 onces : 1 pouce cube d'iode, 4,948 onces, 1 pouce cube de fer, 7,790 onces, et 1 pouce cube de nickel 8,477 onces) ; il est évident qu'on apprend, par ce moyen, combien de pouces cubes de chlore, d'iode, de nickel, de fer, sont contenus dans un équivalent de chlore, d'iode, de nickel, de fer ; les quotients obtenus exprimeront donc quel est l'espace, exprimé en pouces cubes, qu'occupe un équivalent de chlore, ou d'iode, ou de fer, ou de nickel, ou, plus généralement, ils exprimeront le rapport des volumes de ces corps à leurs équivalents ou au poids de leurs atomes.

Les atomes des substances isomorphes sont, d'après notre supposition, de même forme et de même grandeur; leur nombre est égal sous des volumes égaux; si maintenant, dans un équivalent de chlore, il se trouve contenu exactement autant d'atomes que dans un équivalent d'iode, il faut que nous obtenions le même nombre en divisant leurs poids spécifiques par les poids des atomes; or, 35,2, poids de l'atome du chlore, divisé par 1,380, poids spécifique du même corps, donne le nombre 25; et le nombre 126, poids de l'atome de l'iode, divisé par 4,948, poids spécifique du même corps, donne pareillement le nombre 25.

On conçoit facilement que, d'après notre supposition, il ne doit pas en être autrement. Le poids des atomes, ou le nombre qui exprime l'équivalent des corps isomorphes, étant divisé par le poids spécifique, doit donner un seul et même quotient, puisque ces corps contiennent, dans des volumes égaux, un nombre égal d'atomes; si le nombre des atomes est inégal, ou si ceux-ci sont différents dans leurs formes et dans leurs dimensions, cette différence se fera aussi reconnaître dans leurs quotients. Voilà ce qui rend la connaissance de ces nombres très importante pour la comparaison; et, pour leur donner un nom, on les a appelés *volumes des atomes* ou *volumes spécifiques.* C'est ainsi qu'on dit: le volume des atomes du chlore est 25; celui des atomes de l'iode est pareillement 25; les deux volumes étant identiques, les deux corps sont *isomorphes;* le volume des atomes du soufre est 8; il diffère beaucoup de celui des atomes du chlore, avec lequel il n'est pas isomorphe:

mais il est égal à celui des atomes du sélénium, avec lequel il est isomorphe.

Ces nombres font reconnaître, au premier coup d'œil, quels sont les corps qui, sous des volumes égaux, contiennent un nombre égal, ou inégal, d'atomes; leurs rapports respectifs sont, par cette raison, comparables; et leur détermination exacte est de la plus haute importance.

SEPTIÈME LETTRE.

pareils chimiques. — Matériaux dont ils sont faits. — Verre. — Caoutchouc. — Liége. — Platine. — La balance. — Les éléments des anciens. — Lavoisier et ses successeurs. — Étude des éléments de la terre. — Production synthétique des minéraux : celle de l'azur. — Chimie organique.

Quand on veut parler des progrès et du développeent de la chimie moderne, on ne peut s'empêcher de ire ressortir tout le mérite des moyens et des appareils ont la chimie se sert pour ses travaux. Nous n'aurions ut-être pas fait la moitié de nos progrès sans le verre, liége, le platine et le caoutchouc. Du temps de Laisier, il n'était permis qu'à un petit nombre de personnes, et seulement à des hommes riches, de se livrer des recherches sur la chimie, par la raison que les pareils étaient trop dispendieux.

Tout le monde connaît les propriétés merveilleuses du verre : transparent, dur, incolore, inattaquable aux acides et à la plupart des liquides ; à certaines températures, plus maniable et plus flexible que la cire. Il prend, dans la main du chimiste devant la flamme d'une lampe à huile, la forme et les contours de tous les appareils dont celui-ci a besoin pour ses expériences.

Quelles propriétés précieuses ne se réunissent-elles pas dans le liége! Combien peu d'autres personnes savent en apprécier la valeur et en reconnaître toutes les qualités! On se creuserait en vain la tête pour remplacer le liége par quelque autre chose, pour boucher une bouteille à la manière ordinaire. Qu'on se figure une matière molle, extrêmement élastique, que la nature elle-même a imbibée d'une substance (la subérine) qui tient le milieu entre la cire, le suif et la résine ; qui lui donne la propriété d'être entièrement impénétrable aux liquides, et même, jusqu'à un certain degré, à tous les gaz. Au moyen du liége, nous joignons ensemble des tubes larges et des tubes étroits ; et, au moyen du caoutchouc et du liége, nous construisons les appareils en verre les plus compliqués, sans avoir besoin pour cela ni de l'ouvrier en métaux, ni du mécanicien, ni de vis, ni de robinets. Les appareils du chimiste reviennent à aussi bon marché qu'ils sont promptement établis et vitement renouvelés.

On ne pourrait exécuter une analyse de minerai sans platine. Il faut dissoudre le minerai ; il faut qu'il soit désagrégé, c'est-à-dire préparé pour la solution. Le verre, la porcelaine, tous les genres de creusets non métalliques sont détruits par les moyens qui servent à

la désagrégation; des creusets en argent ou en or fondraient aux températures élevées; le platine coûte moins cher que l'or; il est plus dur et plus solide que l'argent; il est infusible à toutes les températures de nos fourneaux; il n'est attaqué ni par les acides, ni par les carbonates alcalins; il réunit en lui les propriétés de l'or et celles de la porcelaine infusible. Sans le platine, la composition de la plupart des minerais serait peut-être aujourd'hui encore ignorée. Sans le liége et le caoutchouc, nous ne pourrions nous dispenser du mécanicien pour nos travaux. Sans le caoutchouc seulement, les appareils seraient dispendieux et plus cassants; mais le principal avantage que l'un et l'autre nous procurent, c'est l'économie du temps, infiniment plus précieuse.

Aujourd'hui le laboratoire du chimiste n'est plus la voûte apyre, sombre et froide du métallurgiste; ni l'officine de l'apothicaire surchargée de retortes et d'appareils à distiller; c'est une chambre claire, chaude, et gaie; au lieu de fourneaux et de charbon, il se sert de lampes parfaitement construites, dont le feu lui procure la flamme pure et sans odeur de l'esprit de vin. Le chimiste fait ses recherches les plus minutieuses avec ces ressources si simples, auxquelles vient encore s'ajouter la balance.

Peser, mesurer, c'est ce qui distingue la chimie de la physique; on peut même dire qu'il n'y a pas d'autre différence entre les deux. Les physiciens mesurent depuis des siècles, mais ce n'est guère que depuis cinquante ans qu'ils ont commencé à peser. Toutes les grandes découvertes qu'a faites Lavoisier, il les a dues à la balance; à cet instrument incomparable, auquel

rattachent toutes les observations et toutes les découvertes ; qui lève tous les doutes, et qui met dans tout son jour la vérité; qui nous fait voir si nous nous sommes trompés, ou si nous sommes dans la bonne voie. C'est la balance qui a mis fin au règne d'Aristote; sa méthode de faire, de l'explication d'un phénomène de la nature, un jeu de l'esprit, a fait place à l'investigation réelle de la nature. Trois de ses éléments ne seraient aujourd'hui que la représentation des divers états des corps. Tout ce qui existe sur la terre a toujours possédé, avant comme après, ou l'état solide, ou l'état liquide, ou l'état aériforme ; cependant la terre, l'eau et l'air ont appartenu à l'histoire comme des éléments. Le feu a été le représentant visible et sensible du changement de ces états.

La détermination de la composition de l'écorce solide de la terre fut le problème principal de la génération qui vint après Lavoisier; la constitution de l'air atmosphérique, celle de l'eau, avaient été déterminées par lui. Aux dix-huit métaux que l'on connaissait, on en ajouta, comme parties constituantes des minéraux, vingt-quatre nouveaux. La grande lacune qui existait entre l'oxigène et les métaux s'est remplie dans des passages successifs. La plupart des minéraux se sont montrés composés de deux ou de plusieurs oxides, dans des rapports fixes et invariables; comme étant des combinaisons d'oxides métalliques avec d'autres oxides dont le radical, le carbone ou le silicium, s'écartait essentiellement des métaux dans ses propriétés. Une autre classe de minéraux comprit les combinaisons du soufre, les sulfites, dans lesquels le soufre joue

le rôle de l'oxigène ; à l'exception d'un chlorite (le sel marin), la masse des autres combinaisons, les fluorites, les arsénites, etc., s'est trouvée extrêmement petite.

La chimie des minéraux ne se contente pas de l'analyse ; elle démontre, par la synthèse, la formation de la pierre ponce ; celles du feldspath, du mica, des métaux sulfurés. Mais dans la carrière des découvertes de la chimie minérale, son plus beau triomphe, sous le rapport de la production artificielle des minéraux, a été, sans contredit, celle du lapis-lazuli. Aucun minéral ne pouvait offrir plus d'intérêt que celui-ci. Ses parties les plus subtiles fournissent la couleur, si précieuse pour la peinture, d'un bel azur invariable à l'air et dans le feu le plus vif. L'outre-mer coûtait plus cher que l'or ; sa production paraissait devoir être impossible, car l'analyse avait cherché en vain à y découvrir un pigment ; il ne renfermait aucun pigment, mais de la silice, de l'alumine, de la soude, trois substances sans couleur ; — du soufre et du fer, qui ne sont ni l'un ni l'autre bleus. — Outre ces corps, on n'en avait trouvé aucun autre auquel on pût attribuer la couleur. Aujourd'hui, avec de la silice, de l'alumine, de la soude, du fer et du soufre, on fabrique plusieurs milliers de livres d'un outre-mer qui est encore plus beau que l'outre-mer naturel ; et pour la même somme qui, précédemment, n'aurait suffi que pour l'achat d'une once, on en achète plusieurs livres.

On peut dire que, par la fabrication du lapis-lazuli artificiel, la production des minéraux a cessé d'être le sujet d'un problème scientifique pour le chimiste. Qui pourrait douter que ce problème ne doive, de même,

cesser d'occuper le géologue? — Mais il se passera bien du temps encore avant que les géologues prennent la résolution de faire des expériences qu'on ne peut plus attendre du chimiste, parce que, pour lui, tout l'intérêt est épuisé ; il n'y a plus, sous ce rapport, pour le chimiste, de question à résoudre.

Après la connaissance des parties constituantes de l'écorce solide de la terre; après celle des actions respectives des substances qui ne peuvent plus être subdivisées; celle des métaux et des métalloïdes; il fallait que, d'après la marche logique de l'étude de la nature, il s'ensuivît immédiatement, comme objet des travaux du chimiste, la puissance plus élevée de certains principes, qui sont mis en fonctions par l'activité de la vie dans la plante et dans l'animal. Du tronc vigoureux et sain de la chimie inorganique s'est développée une science nouvelle, inépuisable comme la vie elle-même. C'est ainsi qu'après les boutons, les feuilles et les rameaux, il faut que la fleur se développe, et après la fleur, le fruit. Le but de la chimie végétale et animale, associée à la physiologie, est de chercher à approfondir les sources mystérieuses de la vie organique.

HUITIÈME LETTRE.

Du changement de formes qu'éprouve la matière.—Transformation des gaz en liquides et en corps solides. — De l'acide carbonique. — Ses propriétés à l'état solide. — Condensation des gaz par les corps poreux : par la mousse de platine. — Importance de cette propriété dans la nature.

Je vous ai dit, dans ma précédente lettre, que les éléments des anciens n'avaient plus de valeur que comme symboles des formes et des états sous lesquels la matière s'offre à nous ; maintenant, je puis ajouter que ces états des corps ne sont constants que d'une manière relative, et que la chimie moderne ne reconnaît rien ni d'absolument solide, ni d'absolument liquide, ni d'absolument aériforme. Il est vrai qu'avec le feu le plus

ardent de nos fourneaux, on ne peut fondre ni le platine, ni l'alumine, ni le cristal de roche; toutefois ces corps fondent, comme de la cire, à la flamme du chalumeau à gaz hydrogène et oxigène condensés; et, parmi les 28 gaz que l'on connaît, il y en a 25 qui peuvent être liquéfiés; il y en a même un que l'on peut réduire sous la forme d'un corps solide.

La loi de Mariotte, que l'on avait considérée jusqu'ici comme vraie pour tous les gaz, a perdu son caractère d'universalité. Ce n'est pas pour tous les gaz que le volume diminue dans le même rapport qu'augmente la pression sous laquelle on les comprime; à la vérité, sous une pression double ou triple, la plupart d'entre eux n'occupent plus que la moitié ou le tiers de leur volume primitif; mais déjà sous une pression quadruple, le gaz sulfureux, celui de cyanogène, n'éprouvent plus une diminution de volume correspondante à la pression; cette diminution est, pour ces gaz, beaucoup plus grande. Lorsque l'on comprime de l'ammoniaque jusqu'au sixième de son volume, à la température ordinaire, et de l'acide carbonique jusqu'à 1|36 du sien, ces gaz cessent de suivre la loi de Mariotte. Sous ces pressions, ils perdent, en partie, leur état aériforme; ils prennent la forme d'un liquide fluide; et ils se gazéifient de nouveau aussitôt que la pression diminue.

Les appareils dont se sert le chimiste pour liquéfier les gaz, sont admirables de simplicité; un grand degré de froid qu'il produit artificiellement; ou un simple tube de verre recourbé en genou, lui tiennent lieu de machines à compression les plus puissantes. Le ure de mercure, chauffé dans un tube de verre ou-

vert, se décompose en gaz cyanogène et en mercure métallique ; si on le met dans un tube qui soit hermétiquement fermé par les deux bouts, la décomposition par la chaleur s'effectue bien encore, mais le cyanogène ne pouvant s'échapper, il se trouve renfermé dans un espace qui est plusieurs centaines de fois plus petit que celui que le gaz occuperait dans un tube ouvert, sous la pression ordinaire ; il en résulte naturellement que la majeure partie de ce gaz prend la forme liquide dans la partie du tube qui n'est pas chauffée, et qui est faiblement refroidie. Nous versons de l'acide sulfurique, dans un vase ouvert, sur de la pierre à chaux, et nous voyons s'en dégager un gaz avec effervescence ; si nous effectuons cette décomposition dans un vase clos, de fer, suffisamment solide, elle nous fournit plusieurs livres d'acide carbonique à l'état liquide. Il faut une pression de 36 atmosphères pour que l'acide carbonique se sépare, à l'état liquide, des corps avec lesquels il est combiné.

Tout le monde a eu connaissance, par les journaux, des propriétés remarquables de cet acide carbonique liquide. Un mince filet qu'on en laisse échapper dans l'air, reprend son état gazeux primitif avec une promptitude extraordinaire, et la partie qui se gazéifie absorbe, à l'acide carbonique qui reste liquide, une quantité de chaleur si considérable, que celui-ci se congèle en une neige blanche. On eût pris, en effet, cette substance cristalline pour de la véritable neige, pour de la vapeur d'eau congelée dans l'air ; mais une étude plus suivie démontra bientôt que c'était de l'acide carbonique pur, à l'état de congélation. A l'

posé de ce que l'on est généralement porté à croire, cet acide carbonique solide n'exerce qu'une très faible pression autour de lui. Tandis que de l'acide carbonique liquide, renfermé dans un tube de verre, dès qu'on ouvre ce tube, reprend son état gazeux avec une explosion qui brise le verre en mille morceaux, l'acide carbonique solide peut être pris sur la main, entre les doigts, sans qu'on éprouve autre chose qu'un sentiment de froid très intense. C'est dans la grande proximité où se trouvent les parties de l'acide carbonique solide que se montre, dans toute sa puissance, leur force de cohésion, laquelle n'est pas autrement perceptible ; l'état solide oppose à la tendance de l'acide carbonique à reprendre l'état gazeux, un obstacle qui n'est surmonté que peu à peu, et l'acide ne reprend cet état que successivement, et au fur et à mesure qu'il reçoit de la chaleur de ce qui l'entoure. Le degré de froid, ou, si l'on veut, le refroidissement qu'éprouvent les corps qui entourent l'acide carbonique solide au moment où il se gazéifie, est démesurément grand. Dix, vingt livres de mercure et plus encore, mis en contact avec un mélange d'éther et d'acide carbonique solide, se solidifient en peu d'instants, et deviennent malléables au marteau. La génération qui s'élève ne sera plus reçue à voir ces expériences remarquables, car un exemple déplorable a mis en évidence le danger extraordinaire qu'il y a à produire de l'acide carbonique en quantités si considérables. Immédiatement avant le commencement du cours, pendant la préparation de la leçon dans le laboratoire de l'école de Pharmacie, à Paris, le cylindre de fer (de 2 1|2 pieds de longueur et de 1 pied de diamètre),

dans lequel on avait dégagé de l'acide carbonique, a fait explosion avec une force épouvantable, et les éclats du cylindre ont fracassé les deux jambes du préparateur, qui n'a pas tardé à succomber à ses horribles blessures. On ne peut se rappeler cet accident sans frémir à l'idée de ce qui serait arrivé, si une pareille explosion d'un cylindre de la plus forte fonte, et semblable à un canon, avait eu lieu dans un grand amphitéâtre surchargé d'auditeurs ; quand on songe surtout que ce même cylindre avait déjà servi plusieurs fois en pareils cas, à de semblables expériences, ce qui écartait l'idée qu'il y eût, à cela, l'ombre même d'un danger.

Depuis que l'on sait que la plupart des gaz deviennent liquides par la compression ou par le froid, on n'a plus regardé comme une énigme la propriété, si remarquable, que possède le charbon poreux d'absorber et de condenser de ces gaz, 10 fois, 20 fois son propre volume, et même de 70 à 90 fois son volume pour quelques uns d'entre eux, tels que le gaz d'ammoniaque et celui de l'acide chlorhydrique. Ces gaz se trouvant contenus dans un espace plusieurs centaines de fois plus petit, on ne pouvait mettre en doute qu'il n'y en eût une partie à l'état liquide, ou à l'état solide. Comme dans mille autres cas, l'action chimique remplace ici les forces mécaniques ; la notion de l'adhérence n'en a reçu que plus d'extension. Jusqu'ici elle n'était pas conciliable avec un changement d'état ; maintenant la cause de l'adhérence d'un gaz à la surface d'un corps solide, c'est l'opposé de la dissolution.

La plus petite particule d'un gaz, par exemple, une particule d'air, peut être réduite par la seule compres-

sion mécanique à ne plus occuper qu'un espace mille fois plus petit; sa masse est à la surface mesurable d'un corps solide ce que celle d'une petite boule de moelle de sureau est à une montagne. Par la seule action des masses, comme effet de la pesanteur, les particules de gaz doivent être attirées par les corps solides et adhérer à leur surface; si à cette action vient encore s'ajouter un effet chimique, quelque faible qu'il soit, alors les gaz coërcibles ne peuvent plus conserver leur état de gaz.

La condensation de l'air sur un pouce carré de surface n'est assurément pas mesurable: cependant imaginons un corps solide qui ait plusieurs centaines de pieds carrés de surface, et qui soit réduit au point de ne plus occuper que l'espace de 1 pouce cube; si l'on porte ce corps dans un volume déterminé de gaz, on verra, pour tous les gaz sans exception, ce volume diminuer; ils seront, comme on dit, absorbés. Eh bien! les pores d'un pouce cube de charbon offrent dans les cas les moins favorables une surface de 100 pieds carrés; la propriété qu'a ce corps d'absorber les gaz augmente, dans les différentes espèces de charbons, avec le nombre de leurs pores dans un espace donné, c'est-à-dire que les charbons qui sont pourvus de grands pores en absorbent beaucoup moins que ceux qui en ont de petits. C'est donc ainsi que toutes les matières poreuses, les roches, les pierres perméables, les mottes des champs, sont de véritables corps aspirateurs d'air, et, en même temps, d'oxigène; chacune de leurs plus petites particules s'entoure d'une véritable atmosphère d'oxigène condensé; et s'il se trouve, à proximité,

d'autres matières qui puissent se combiner avec cet oxigène, par exemple, des corps qui contiennent du carbone ou de l'hydrogène, ceux-ci se convertiront en aliments pour la végétation, en acide carbonique, et en eau. Le dégagement de chaleur qui résulte de l'aspiration de cet air, ou de la vapeur d'eau, ou de l'arrosement de la terre par la pluie, a été reconnu être une conséquence de la condensation due à ces effets de surfaces.

On a trouvé, dans le platine métallique, l'aspirateur de l'oxigène le plus remarquable; ce métal brillant et blanc, précipité de ses dissolvants, se trouve divisé dans un tel degré de finesse, que ses plus petites parties ne reflètent plus la lumière; il a alors la couleur du noir de fumée. Dans cet état, il absorbe, en oxigène, plus de 800 fois le volume de ses pores; et il faut que cet oxigène s'y trouve dans un tel état de condensation, qu'il doit bien approcher de celui de l'eau à l'état liquide.

C'est lorsque les plus petites parties des gaz se trouvent rapprochées aussi extraordinairement qu'on peut mettre le plus en évidence leurs propriétés; ainsi condensés, leur caractère chimique se manifeste à un degré d'autant plus élevé que leur caractère physique s'amoindrit davantage. Celui-ci consiste dans la tendance continuelle qu'ont leurs plus petites particules à s'éloigner les unes des autres; et puisque l'action chimique ne se montre en activité qu'à une certaine proximité, on peut facilement concevoir que l'élasticité des gaz soit un obstacle principal à cette manifestation de l'action chimique. C'est dans l'état de répu

sion détruite, dans lequel les gaz se trouvent lorsqu
sont placés dans les pores, ou à la surface d'un co
solide, que se manifeste toute leur action chimiq
Des combinaisons que l'oxigène ne pouvait produ
dans son état ordinaire, ou des décompositions q
ne pouvait opérer, s'effectuent avec la plus grande
cilité dans les pores du platine qui renferment de l'o
gène condensé. On possède, en effet, dans le noir
platine, ou même dans la mousse de platine, une
pèce de mouvement perpétuel, une montre qui, ap
avoir marché, se remonte d'elle-même; on y trouve
force qui ne s'épuise jamais, et qui peut renouvele
l'infini des effets de l'ordre le plus puissant. Nous
sons arriver un courant d'hydrogène sur de la mou
de platine dont les pores renferment de l'oxigène c
densé; alors les deux gaz se combinent à leur cont
réciproque; il se forme de l'eau dans l'intérieur d
mousse de platine; et la conséquence immédiate
cette formation d'eau, c'est-à-dire de la combustion
l'hydrogène, est un dégagement de chaleur qui
rougir le platine, et le gaz qui arrive ensuite s'y
flamme. Aussitôt que nous interrompons le courant
gaz inflammable, les pores vidés du platine se re
plissent de nouveau d'oxigène avec une rapidité q
ne saurait mesurer, et on peut reproduire le m
phénomène une deuxième fois, et même à l'infini.

Un grand nombre de phénomènes, qui étaient re
jusqu'alors inexpliqués, ont trouvé la plus belle e
plus satisfaisante des explications dans cette décou
sur la manière dont se comportent les corps sol
surtout les corps poreux. La transformation de

cool en vinaigre, notre fabrication accélérée, actuelle, de ce même vinaigre, qui est certainement une des branches les plus importantes de l'industrie agronomique, reposent aujourd'hui sur les principes auxquels on est arrivé par une étude exacte des propriétés que nous venons de mentionner.

NEUVIÈME LETTRE.

Fabrication de la soude avec le sel marin. — Son importance pour le commerce et pour les arts. — Verre. — Savon. — Acide sulfurique. — Raffinage de l'argent. — Blanchiment. — Commerce du soufre.

On peut considérer la fabrication de la soude, au moyen du sel marin commun, comme la base de l'extension extraordinaire que l'industrie moderne a prise dans toutes les directions ; cette fabrication vous fournira, je l'espère, un exemple instructif du rapport intime qui lie ensemble les diverses branches de l'industrie et du commerce, et celles-ci à la chimie.

Le carbonate de soude, ou sa principale partie constituante, la soude, sert, en France, depuis un temps immémorial, à la fabrication des savons et à celle du verre ; deux produits de l'industrie chimique, qui déjà,

à eux seuls, mettent de très grands capitaux en mouvement. — Le savon est une mesure de l'aisance et du degré de civilisation des États. Il est vrai que les économistes politiques ne voudront pas lui reconnaître ce degré d'importance; cependant, soit qu'on regarde la chose comme une plaisanterie, soit qu'on la prenne au sérieux, il est certain que, si l'on établit une comparaison entre deux États qui ont le même nombre d'habitants, on peut, avec une certitude réelle, regarder comme le plus riche, comme le mieux partagé et le plus civilisé, celui qui consomme le plus de savon; car le débit et la consommation de ce produit ne dépendent ni du caprice de la mode, ni du désir de chatouiller le palais; mais bien du sentiment du beau, du prix qu'on attache à la santé et aux avantages qui résultent de la propreté. Là où de pareils sentiments sont, indépendamment des autres, pris en considération et satisfaits, on peut dire qu'il y a tout à la fois aisance et civilisation. Les riches du moyen-âge, qui, par l'emploi de drogues parfumées, d'un prix élevé, savaient dissimuler la mauvaise exhalaison de leur peau et de leurs vêtements que le savon ne toucha jamais, étalaient dans le boire et le manger, dans les habits et les chevaux, un luxe beaucoup plus grand que nous; mais quelle énorme distance entre eux et nous chez qui saleté et malpropreté sont devenus synonymes d'extrême misère et d'insupportable adversité! — Enfin, le savon est un de ces produits pour lesquels la valeur du capital disparaît continuellement de la circulation, et demande à être sans cesse renouvelée; il est du petit nombre de ceux qui, après l'usage, sont absolument sans valeur comme il en est du suif et de l'huile qu'on brûle pour

l'éclairage. On peut acheter des vitres avec des verres cassés, et des vêtements avec des chiffons, mais on ne fait plus rien avec de l'eau de savon. Une évaluation du capital que l'on tient en circulation pour la fabrication du savon, offrait un grand intérêt, car il est bien certainement tout aussi important que celui qui circule pour le commerce du café ; avec cette différence que le capital consacré à la fabrication du savon tire son origine de notre sol.

La France importait annuellement d'Espagne, seulement en soude, pour 20 à 30 millions de francs ; car la soude d'Espagne était la meilleure sorte. Les prix du savon et du verre allèrent continuellement en s'élevant pendant la guerre avec l'Angleterre, et toutes les fabriques en souffrirent. La méthode actuelle de fabriquer la soude, au moyen du sel marin, vint enrichir la France ; elle fut découverte, vers cette époque, par Le Blanc ; toutefois il n'obtint pas le grand prix que Napoléon avait promis pour cette invention ; la restauration étant survenue, elle ne reconnut pas la dette, il y en avait de plus pressantes à payer, et enfin elle prescrivit.

En très peu de temps, la fabrication de la soude prit en France une extension extraordinaire ; elle se développa sur la plus grande échelle dans les localités où se trouvaient les fabriques de savon. Marseille eut, mais seulement pendant un temps très court, le monopole de cette fabrication, en même temps que celui de la production de la soude. Toutefois, la haine d'une po-
ion exaspérée d'avoir perdu, sous Napoléon, la
ipale source de ses profits, le commerce de la

soude, vint, par une singulière réunion de circonstances, au bénéfice du gouvernement qui succéda.

Pour transformer le sel marin en carbonate de soude, il faut (c'est la marche de la fabrication) qu'il soit d'abord converti en sel de Glauber (sulfate de soude); pour cela, 100 livres de sel marin exigent, terme moyen, 80 livres d'acide sulfurique concentré. On conçoit bien que lorsque le prix du sel marin eut été réduit au minimum, ce à quoi le gouvernement voulut bien se prêter, le prix de la soude dépendit de celui de l'acide sulfurique.

Les demandes pour l'acide sulfurique se multiplièrent prodigieusement; les capitaux vinrent de tous côtés favoriser cette branche lucrative d'industrie; la formation et la production de l'acide sulfurique furent étudiées de la manière la plus exacte, et, d'une année à l'autre, on arriva à des méthodes de fabrication plus parfaites, plus simples et moins coûteuses. A chaque amélioration, le prix de l'acide sulfurique s'est abaissé, et la consommation s'en est accrue dans la même proportion. Les vases dans lesquels on produit l'acide sulfurique sont de plomb; leur étendue a été tellement agrandie, qu'aujourd'hui on pourrait facilement bâtir, dans l'intérieur de l'un d'entre eux (appelés chambres de plomb), une maison haute de deux étages. Sous le rapport du procédé et des appareils, la fabrication de l'acide sulfurique a atteint son plus haut point de perfection, et il n'y a presque plus d'amélioration dont elle soit susceptible. La soudure des plaques de plomb avec du plomb (celles à l'étain, ou celles composées de soudures mélangées seraient corrodées), coûtait précédem-

ment à peu près autant que les plaques elles-mêmes; aujourd'hui, au moyen de la flamme du gaz détonant composé d'*oxigène* et d'*hydrogène*, deux plaques de plomb peuvent être soudées par un enfant. Le calcul indique qu'avec 100 livres de soufre on ne peut produire que 306 livres d'acide sulfurique; on en obtient 300 livres; on voit que la perte ne vaut pas même la peine d'en parler.

Indépendamment du soufre, le nitre exerçait aussi précédemment une influence capitale sur le prix de l'acide sulfurique, à la fabrication duquel il est indispensable; il est vrai qu'on n'avait besoin que d'un quintal de nitre pour 10 quintaux de soufre; mais le nitre coûtait quatre fois autant qu'un poids égal de celui-ci. Cet état de choses a également changé.

Il existe au Pérou, dans le district d'Atacama, non loin du petit port Yquique, de vastes efflorescences d'un sel que les voyageurs ont découvert, et dont la partie constituante principale est du nitrate de soude, ainsi que l'analyse chimique l'a démontré; le commerce, qui avec ses bras de polype embrasse la terre, qui ouvre partout de nouvelles sources de profits à l'industrie, s'est emparé de cette découverte. Il s'est rencontré des provisions de ce sel précieux qui ont paru, pour ainsi dire, inépuisables; on en a trouvé des gîtes de plus de quarante milles carrés (de près de 140 lieues carrées), et il s'en est transporté des masses en Europe, à un prix qui n'a pas même atteint la moitié des frais de transport du nitre des Indes (nitre qui est à base de potasse); et comme, dans la fabrication chimique, on ne faisait entrer en ligne de compte ni la potasse, ni la

soude, mais seulement l'acide nitrique qui s'y trouve combiné, il est arrivé que, dans un espace de temps incroyablement court, le nitre du Chili a, à peu près, totalement remplacé le nitre des Indes ou le nitrate de potasse. La fabrication de l'acide sulfurique en a reçu un nouvel essor; et, sans qu'il y ait eu préjudice pour le fabricant, le prix s'en est continuellement abaissé. Aujourd'hui, ce prix demeure à peu près stationnaire depuis que les entraves qui ont été mises, pendant quelque temps, à l'exportation du soufre de Sicile, l'ont tenu chancelant. — On recherche moins le nitre maintenant; ce qui s'explique facilement : ce n'est plus qu'à la fabrication de la poudre à canon que l'on emploie encore le nitrate de potasse; et si les gouvernements économisent actuellement des centaines de mille francs sur le prix de cette poudre, ils le doivent à la fabrication de l'acide sulfurique.

Pour donner une idée de la consommation de cet acide, il suffit de mentionner qu'une petite fabrique en verse annuellement dans le commerce 5,000 quintaux; qu'une fabrique moyenne en produit 20,000 quintaux, et qu'il y a même des fabriques qui en produisent, dans l'année, jusqu'à 60,000 quintaux. La fabrication de l'acide sulfurique a attiré des sommes énormes en Sicile; elle a apporté l'industrie et l'aisance dans les districts déserts d'Atacama; c'est elle encore qui a rendu lucrative l'exploitation du platine en Russie, car les vases de concentration sont en platine, et chaque chaudière de ce métal coûte de 10 à 20,000 florins. Le verre, qui se fabrique de jour en jour plus beau et à meilleur marché, l'excellent savon dont nous faisons usage, ne proviennent

plus aujourd'hui des cendres, mais de la soude; et quant aux cendres, nous allons les répandre dans nos champs et sur nos prairies, comme l'engrais le plus précieux et le plus utile.

Il est impossible de suivre un à un tous les fils de cette merveilleuse trame de l'industrie; nous devons toutefois mentionner ici encore quelques unes des conséquences immédiates des arts chimiques. Nous avons dit qu'il fallait que le sel marin fût converti en sel de Glauber, avant qu'il pût être employé à la fabrication de la soude. Par un traitement convenable, on en obtient le sel de Glauber, et on obtient, en même temps, comme produit accessoire, une quantité d'acide chlorhydrique fumant, qui est une fois et demie ou deux fois, en poids, celle de l'acide sulfurique; quantité qui, en somme, est véritablement énorme. — Dans les premiers temps, la fabrication de la soude était tellement lucrative, qu'on ne se donnait point la peine d'utiliser cet acide chlorhydrique, qui n'avait aucune valeur vénale; mais, comme c'est un acide susceptible d'un grand nombre d'applications, cet état de choses changea bientôt. — L'acide chlorhydrique est une combinaison de chlore; il n'y a pas de substance qui puisse fournir du chlore plus pur, et à meilleur marché, que l'acide chlorhydrique. L'application du chlore au blanchiment des toiles était connue depuis longtemps; mais on ne l'avait jamais mise en pratique industriellement. On commença à profiter de l'acide chlorhydrique, sous forme de chlore, pour le blanchiment des tissus de coton; par la combinaison de celui-ci avec la chaux, on apprit à le rendre susceptible d'être expédié au

loin ; il en résulta une nouvelle industrie, riche en conséquences ; et sans le chlorure de chaux, la fabrication des toiles de coton, en Angleterre, n'aurait certainement pu s'y élever à cette hauteur extraordinaire où nous la voyons aujourd'hui. Ce pays n'aurait pu faire continuellement concurrence à l'Allemagne et à la France, dans les prix des tissus de coton, s'il s'était borné et vu forcé à faire le blanchiment de ces tissus sur le gazon. Dans ce mode de blanchiment, il est notamment nécessaire que le terrain, et même les prairies, soient situés convenablement; que chaque pièce de toile soit exposée à l'air et à la lumière pendant plusieurs semaines, durant les mois d'été ; que des ouvriers soient constamment occupés à les tenir toujours humides. Il existe, dans le voisinage de Glasgow, une blanchisserie (Walter-Crums), qui n'est pas des plus considérables, et qui blanchit *journellement*, été comme hiver, 1400 pièces de coton. Pour mener à terme le blanchiment de ce nombre colossal de pièces d'étoffes, que cette seule blanchisserie livre tous les ans aux fabricants, quel énorme capital n'aurait-il pas fallu pour acheter, dans le voisinage d'une ville populeuse, le terrain nécessaire à l'étalage de cette surface de tissus ! Les intérêts seuls du capital auraient eu une influence très prononcée sur le prix des étoffes, tandis qu'une pareille influence eût été à peine sensible en Allemagne.

Au moyen du chlorure de chaux, les pièces de coton sont blanchies en peu d'heures, avec une dépense très minime; et, entre les mains d'ouvriers habiles et intelligents, les étoffes s'usent moins par ce procédé que par le blanchiment sur le gazon. Déjà aujourd'hui,

paysans de l'Odenwald blanchissent leurs toiles au chlorure de chaux, et ils y trouvent leur profit. — C'est ainsi encore que l'acide chlorhydrique sert, entre autres choses (qui pourrait le penser?), à la fabrication de la colle-forte qu'on extrait des os, lesquels en contiennent, en moyenne, de 30 à 36 pour cent. Une matière terreuse (phosphate de chaux) et de la colle, sont les parties constituantes des os; la première est facilement soluble dans l'acide chlorhydrique faible; la colle n'en est pas attaquée d'une manière sensible. On laisse les os dans l'acide chlorhydrique faible, jusqu'à ce qu'ils soient devenus transparents et flexibles comme le cuir le plus souple; on les nettoie de tout l'acide qui peut y adhérer, par un lavage fait avec soin; et l'on a des morceaux de colle conservant la forme des os, qui, sans autre préparation, se dissolvent dans l'eau chaude, et sont propres à toutes les applications.

Nous ne pouvons passer ici sous silence une application de l'acide sulfurique d'une très haute importance: c'est celle de l'affinage de l'argent pour en retirer l'or, qui s'y trouve toujours présent. On entend par procédé d'affinage, comme chacun sait, celui par lequel on obtient de l'argent pur, c'est-à-dire sa séparation du cuivre. L'argent qui nous vient des mines est au titre de 8 à 10 deniers de fin, c'est-à-dire qu'il contient sur 16 deniers de fin (1 marc), de 6 à 8 loths (de 3 à 4 onces) de cuivre. Notre argent de monnaie et d'orfèvrerie contient, dans le marc (8 onces), de 12 à 13 loths (de 6 à 6 1/2 onces) d'argent pur, qu'on obtient, dans les hôtels des monnaies, au moyen d'un alliage d'argent fin avec du cuivre d'après des proportions déterminées. L'argent

brut doit, pour cela, être converti en argent fin; il faut qu'il soit affiné. Précédemment on faisait cette opération par le procédé de la liquation ou de la coupellation, ce qui nécessitait une dépense d'à peu près 20 florins pour 100 marcs d'argent. Néanmoins, dans l'argent purifié de cette manière, il restait encore depuis 1/1200 jusqu'à 1/2000 d'or, dont la séparation par la quartation ne valait pas les frais; cet or circulait tout-à-fait sans valeur dans nos monnaies et dans notre orfévrerie; et la plus grande partie du cuivre était totalement perdue pour le propriétaire de l'argent brut. Aujourd'hui ces rapports ont été changés d'une manière surprenante: la millième partie d'or qui était contenue dans l'argent brut, fait, en réalité, un peu plus de 1 1/2 pour cent de la valeur de l'argent, ce qui non seulement est suffisant pour couvrir les frais de l'affineur, mais ce qui lui procure encore un notable bénéfice. C'est ainsi que se passe alors ce cas bien singulier, savoir: nous donnons à l'affineur de l'argent brut, et il nous rend, en argent fin, le titre exactement déterminé par l'essai, et le cuivre par dessus, sans que, en apparence, nous lui payions rien en retour pour son travail: il se trouve payé par la quantité d'or que l'argent contenait, et qu'il retient pour lui.

L'affinage de l'argent, par le nouveau procédé, est une des plus belles opérations de la chimie. On fait bouillir le métal granulé, dans de l'acide sulfurique concentré, où l'argent et le cuivre se dissolvent, tandis que tout l'or, à peu près, reste sous forme de poudre noire. La dissolution contient du sulfate d'argent et du sulfate de cuivre. On la verse dans des vases de plomb, où on

laisse en contact avec de vieux cuivre. Il en résulte que l'argent dissous se sépare complétement, et parfaitement pur; tandis qu'une certaine partie du cuivre se dissout; on a donc, à la fin de l'opération, de l'argent métallique pur, et du sulfate de cuivre qui s'emploie à la fabrication des couleurs vertes et bleues, et qui a une valeur vénale importante.

Ce serait dépasser les limites de cette esquisse que de vouloir ici poursuivre, dans leurs ramifications les plus éloignées, toutes les applications de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique et de la soude. Toutefois on oserait à peine supposer que nos belles bougies stéariques; que notre briquet phosphorique à si bon marché; que les allumettes chimiques qui nous sont si commodes, eussent jamais vu le jour, sans le perfectionnement extraordinaire qui a été apporté à la fabrication de l'acide sulfurique. Il y a vingt-cinq ans, on aurait traité de fabuleux le prix actuel de cet acide, ceux de l'acide chlorhydrique, de l'acide nitrique, de la soude, du phosphore, etc. Qui est-ce qui peut prévoir quelles seront les nouvelles méthodes de fabrication qui se seront produites dans vingt-cinq ans d'ici? — D'après ce qui précède, on ne trouvera plus exagérée cette affirmation, que l'industrie des arts chimiques d'un pays peut se mesurer, avec une grande exactitude, par le nombre de livres d'acide sulfurique qui se consomment dans ce pays. Il n'y a pas de fabrication qui, sous ce rapport, mérite d'être prise en plus grande considération de la part d'un gouvernement. Que l'Angleterre se soit résolue à des démarches aussi extrêmes contre Naples, au sujet du commerce du soufre, c'est uniquement à cause

de la pression que l'élévation du prix du soufre, aurait exercée sur ceux du blanchiment et de l'impression des tissus de coton, sur le savon et sur le verre. Quand on considère que l'Angleterre approvisionne en partie, de verre et de savon, l'Amérique, l'Espagne, le Portugal, l'Orient et les Indes; que ces contrées lui fournissent en échange, du coton, de la soie, du vin, des raisins secs, du raisin de Corinthe et de l'indigo; quand on considère enfin que le siége du gouvernement, Londres, est la première ville d'entrepôt pour le commerce des vins et de la soie, on s'explique les efforts qu'a dû faire le gouvernement anglais pour abolir le monopole du commerce du soufre.

Il était temps pour la Sicile qu'un pareil état de choses, tout-à-fait contraire à ses véritables intérêts, vînt promptement cesser; s'il eût duré quelques années de plus, toute sa richesse de soufre serait devenue très probablement tout-à-fait sans valeur pour le royaume. La science et l'industrie forment, de nos jours, une puissance qui ne connaît plus d'obstacles. Des observateurs attentifs auraient pu facilement déterminer d'avance l'époque où l'exportation du soufre, de la Sicile, aurait cessé. On a pris, en Angleterre, quinze brevets pour des procédés ayant pour but de rendre de nouveau le soufre à la fabrication de la soude, et de le ramener à l'état d'acide sulfurique. Avant cette question de monopole, personne n'avait songé à une pareille reproduction; si ces quinze essais avaient réussi, le perfectionnement ne se serait assurément pas fait attendre; et une réaction sur le commerce du soufre en serait

résultée d'une manière évidente pour l'intelligence la plus ordinaire. Nous possédons des montagnes d'acide sulfurique, en sulfate de chaux et en spath pesant; nous en avons de soufre, en alquifoux et en pyrites sulfureuses; quand le prix du soufre s'est élevé, on est arrivé à extraire, pour le commerce, le soufre de ces produits de la nature; on s'est alors proposé pour problème de rechercher la meilleure voie pour se procurer à bon marché les matières propres à la fabrication de l'acide sulfurique. Plusieurs mille quintaux d'acide sulfurique ont été obtenus de la pyrite sulfureuse, lorsque le soufre était d'un prix élevé; on serait parvenu à retirer l'acide sulfurique du sulfate de chaux; toutefois, ce n'eût pas été sans surmonter beaucoup d'obstacles; mais ils auraient été vaincus. Aujourd'hui l'impulsion est donnée; la possibilité du succès est démontrée; qui sait quelles conséquences fâcheuses ne résulteront pas, d'ici à peu d'années, pour Naples, d'une spéculation financière déraisonnable! Il se pourrait bien qu'il lui fût réservé le même sort qu'à la Russie, qui, par son système prohibitif, a perdu complétement son commerce de suif et de potasse. Ce n'est que lorsque nous y sommes forcés par la nécessité que nous achetons des marchandises dans un pays qui exclut de son commerce nos propres produits. Au lieu de plusieurs centaines de mille quintaux de suif et d'huile de chènevis, l'Angleterre consomme aujourd'hui plusieurs centaines de mille quintaux d'huile de palme et d'huile de coco qu'elle ne tire pas de la Russie. Les émeutes d'ouvriers contre les propriétaires des fabriques, pour obtenir de ceux-ci un de journée plus élevé, ont conduit à l'invention

d'admirables machines, avec lesquelles on a pu se passer d'eux. C'est ainsi que, dans le commerce et l'industrie, chaque imprudence trouve sa punition en elle-même ; et que toute entrave, toute barrière opposée au commerce, réagit le plus sensiblement contre le pays même qui l'a élevée.

DIXIÈME LETTRE.

Liaison entre la théorie et la pratique. — Application du magnétisme comme force motrice. — Rapport entre le carbone et le zinc comme sources de force. — La fabrication du sucre de betterave est impolitique. — Gaz d'éclairage.

Vous m'accorderez, si je regarde cela comme un grand bonheur pour l'humanité, que chaque idée nouvelle qui peut être transformée en une machine utile, ou en un objet de commerce ou d'industrie, trouve ses partisans qui y consacrent leurs forces, leurs talents, et tout leur bien pour la réaliser. Lors même que cette idée apparaît comme inexécutable; qu'elle est reconnue plus tard pour absurde en elle-même, il ne résulte pas moins de ces efforts, d'autres effets qui ont

du prix et de l'utilité. Il en est de l'industrie comme de l'étude de la nature, dans laquelle les théories conduisent aux travaux et aux recherches. C'est en travaillant que l'on fait les découvertes : on creuse pour trouver du lignite, et on découvre une couche de sel ; on fouille pour trouver du fer, et l'on découvre des minerais d'une valeur beaucoup plus grande.

C'est ainsi que, de nos jours, on attend des choses prodigieuses de l'électro-magnétisme : c'est lui qui doit mettre la locomotive en mouvement sur nos chemins de fer, avec une dépense tellement insignifiante, qu'elle ne devra plus être prise en considération. L'Angleterre devra perdre sa supériorité comme nation manufacturière ; car à quoi lui serviront alors ses mines de charbon? Nous avons le zinc à bas prix, et combien peu de zinc ne faut-il pas pour mettre en mouvement un tour, et par conséquent toute autre machine ! Tout cela est plein d'attrait et de séduction, et c'est ainsi que cela doit être, car autrement personne ne s'en occuperait ; ce sont cependant là, en grande partie, des illusions qui reposent sur ce qu'on ne s'est pas encore donné la peine d'établir des comparaisons. Avec une simple lampe à esprit de vin convenablement disposée au-dessous d'un vase plein d'eau bouillante, on peut mettre en mouvement une petite voiture de 200 à 300 livres pesant, ou bien on peut élever un poids de 80 à 100 livres, à la hauteur de 20 pieds. On peut obtenir de semblables effets au moyen d'un morceau de zinc qu'on fait dissoudre par l'acide sulfurique dans un certain appareil. C'est assurément là une découverte extrêmement étonnante et admirable ; mais la question capitale reste toujours

celle-ci : lequel des deux moteurs est-il le plus économique?

Pour prendre cette question dans son sens le plus juste, il faut se rappeler les équivalents du chimiste. Ce sont des valeurs invariables d'effets exprimés en nombres qui sont proportionnels les uns aux autres. Pour produire un certain effet, j'ai besoin de 8 livres d'oxigène; et quand, pour produire le même effet, je ne veux pas employer de l'oxigène, mais du chlore, il ne m'en faut ni plus ni moins de 35 1/2 livres. C'est de même ainsi que 6 livres de carbone sont l'équivalent de 32 livres de zinc. Ces nombres expriment des valeurs d'effets tout-à-fait générales, qui se rapportent à toutes les activités que ces corps peuvent manifester. Lorsque nous mettons de l'acide sulfurique en contact avec du zinc combiné d'une certaine manière avec un autre métal, le zinc se dissout en formant de l'oxide de zinc; il se brûle aux dépens de l'oxigène que lui offre la liqueur conductrice. Nous observons que, par suite de cette action chimique, il y a formation d'un fluide électrique, lequel, conduit par un fil de fer, fait de celui-ci un aimant.

Nous obtenons donc, par la dissolution de 1 livre de zinc, une certaine somme de force, au moyen de laquelle nous pouvons, par exemple, élever à la hauteur de 1 pouce, et y tenir suspendu pendant une égale durée de temps, un poids de fer qui sera d'autant plus grand que le temps pendant lequel la dissolution du zinc se sera effectuée aura été plus court. Nous pouvons, de plus, donner au poids de fer un mouvement de va-et-vient, ou celui de l[illegible]as, en interrompant et en rétablissant le

contact du zinc avec l'acide, ou réciproquement; nous pouvons donc faire naître les conditions par lesquelles on peut faire fonctionner une machine.

De rien il ne peut résulter aucune force; dans le cas dont il s'agit, nous savons qu'elle provient de la dissolution (de l'oxidation) du zinc. Mais si nous faisons abstraction du nom que cette force porte ici, nous savons que son effet peut se produire d'une autre manière, savoir : en brûlant le zinc sous une chaudière de machine à vapeur, au lieu de le brûler dans une pile galvanique; ce serait alors avec l'oxigène de l'air; nous produirions, par ce moyen, de la vapeur d'eau, et par conséquent une certaine quantité de force. Supposons maintenant (ce qui n'est nullement démontré) que la quantité de force soit inégale dans les deux cas; qu'on ait obtenu, par exemple, au moyen de la pile galvanique, une force double ou triple, ou, si l'on veut, que la perte de force y ait été moindre; il faut se rappeler, dans ce cas, que le zinc peut être représenté par certains équivalents de carbone. D'après les expériences de M. Despretz, 6 livres de zinc, en se combinant avec l'oxigène, ne développent pas plus de chaleur que 1 livre de charbon; nous pouvons donc produire, dans des conditions égales, avec 1 livre de charbon, six fois autant de force qu'avec 1 livre de zinc. Il est évident que, les pertes de force étant supposées égales des deux côtés, il serait plus avantageux d'employer du charbon, au lieu de zinc, lors même que celui-ci développerait, dans la pile galvanique, quatre fois autant de force qu'un poids égal de charbon en fournit par sa combustion sous une chaudière à vapeur. En un mot, si nous brû-

lions sous une machine à vapeur le charbon que nous consommons pour fondre le zinc et le séparer de son minerai, il est bien probable que nous produirions alors une force beaucoup plus considérable que celle que nous obtenons par le zinc, sous quelque forme et avec quelque appareil que nous l'employions. Chaleur, électricité, magnétisme, sont réciproquement dans des rapports analogues à ceux des équivalents chimiques du carbone, du zinc et de l'oxigène. Avec une certaine mesure d'électricité, nous produisons des proportions correspondantes de chaleur, ou de force magnétique, qui sont réciproquement équivalentes. Nous achetons cette électricité avec de l'affinité chimique, qui, sous une forme, produit de la chaleur, et qui, sous une autre, produit de l'électricité, ou du magnétisme. Avec une certaine somme d'affinité nous produisons un équivalent d'électricité; de la même manière qu'avec une certaine mesure d'électricité nous effectuons, en sens inverse, une décomposition d'équivalents dans les combinaisons chimiques. La dépense pour de la force magnétique devient donc ici une dépense pour de l'affinité chimique. Du zinc et de l'acide sulfurique nous fournissent de l'affinité chimique sous une forme; du carbone et un tirage d'air convenable nous la donnent sous une autre. Il ne faut pas tomber dans cette erreur, qu'avec une très petite dépense de zinc on puisse faire, d'un fil de fer, un aimant qui porte 1000 livres de fer; car, avec cet aimant, nous ne pourrions pas soulever le poids d'une seule livre à la hauteur de 2 pouces, ou, en d'autres termes, lui donner du mouvement. Un aimant agit comme un rocher en repos qui pèserait de 1000 livres sur

son appui ; c'est l'eau d'un lac fermé de toutes parts et qui n'a pas d'issue. Cependant (peut-on m'objecter) on a su lui donner un écoulement et une chute : c'est ce que je regarde comme un triomphe de la mécanique ; on parviendra même à lui donner plus de chute et plus de force qu'on n'a pu le faire jusqu'ici ; toutefois il demeure certain que, en dehors de la chaudière à vapeur, il ne sera pas apporté le moindre changement à nos machines; et que 1 livre de charbon sous cette chaudière peut, en ce moment, mettre en mouvement une masse plusieurs centaines de fois plus considérable que celle que peut mouvoir 1 livre de zinc dans une pile galvanique (1). Nos expériences dans ce moyen d'obtenir de la force motrice sont encore trop récentes pour qu'on puisse prévoir ce qu'il en résultera. Puissent ceux qui se sont proposé de résoudre ce problème ne pas se laisser décourager ! Lors même que nous n'apprendrions, par là, qu'à nous mettre à l'abri des dangers de la machine à vapeur, ce serait déjà un grand avantage, dût-il nous en coûter deux fois plus de frais. Il y a encore une autre manière de faire servir l'électro-

(1) D'après une notice insérée dans le supplément de la *Gazette universelle*, n° 214, M. Jacobi a construit, en 1838-1839, une machine par laquelle une chaloupe montée de douze hommes a pu être mise en mouvement, et dont l'effet a été évalué à 600 pouds = 24,000 livres élevées à 1 pied de hauteur en une minute. Cet effet ne peut pas même encore être comparé à celui de la plus petite machine à vapeur, car il ne fait que les 4/5 de la force d'un cheval (la force du cheval = 500 livres élevées, dans une seconde, à 1 pied de haute

magnétisme, sur nos chemins de fer, à un but d'une très haute importance. Imaginons-nous, en effet, une disposition par laquelle nous pussions convertir à volonté les roues de la locomotive en aimants très puissants; alors nous gravirions avec facilité toutes les hauteurs. Cette proposition qui a été faite par M. Weber, à Gœttingen, portera ses fruits.

Il en pourrait être, d'ici à quelques années, de la pile galvanique, comme moyen d'avoir du mouvement, ce qu'il en est de la fabrication du sucre indigène, et de celle du gaz d'éclairage obtenu de l'huile et du charbon de terre.

L'industrie, en ce qui concerne le sucre de betterave, a fait des choses presque impossibles; au lieu d'un sucre sale, ayant le goût de la betterave, on fabrique aujourd'hui du sucre du plus beau raffinage; au lieu de 3 à 4 pour cent de sucre que M. Achard tirait de la betterave, on en obtient maintenant le double et même le triple, et, malgré tout cela, cette belle fabrication ne pourra pas se maintenir pendant longtemps encore. De 1824 à 1827, les rapports des prix étaient tout autres. Alors un maldre de froment ne coûtait pas au-dessus de 6 florins; la brasse de bois n'en coûtait pas plus de 10. La valeur des propriétés de terre allait en diminuant. Le prix du sucre n'était pas au-dessous du prix actuel. Alors il était plus avantageux de cultiver de la betterave, et de vendre du froment sous forme de sucre; on avait la betterave à bon marché, le combustible était à bas prix, et le débit du sucre illimité. Cependant, combien ces rapports sont aujourd'hui changés! Le maldre de froment coûte

10 florins : la brasse de bois vaut 18 et jusqu'à 20 florins ; la main-d'œuvre a renchéri avec les prix, quoique dans un rapport plus faible ; cependant le prix du sucre des colonies n'a pas augmenté ; au contraire il a diminué. A l'intérieur des frontières du *Zollverein*, par exemple à Francfort, on paie le sucre en pain, le plus beau et le plus blanc, 21 kreutzers la livre ; si nous en déduisons 11 kreutzers pour les droits de douane (10 thalers par quintal), le sucre raffiné ne coûte alors au-dehors, que 10 kreutzers la livre : ainsi évalué en argent, on obtenait, en 1827, pour 1 maldre de froment, 40 livres de sucre brut (à raison de 9 kreutzers la livre) ; aujourd'hui on obtient, pour la même quantité de froment, 70 livres de sucre brut. A prix égal pour le bois, il faudrait maintenant, pour fabriquer avec le même profit, obtenir 70 livres de sucre de la même quantité de betteraves dont on n'obtenait, en 1827, que 40 livres ; alors le rendement maximum était de 5 pour cent ; aujourd'hui, il ne dépasse pas 6 à 7 pour cent, et le prix du bois a beaucoup augmenté. Toutes les améliorations qu'on a importées ne couvrent pas ces dépenses ; et dans l'état actuel des choses, il est beaucoup plus avantageux de cultiver du froment, et avec lui d'acheter du sucre.

Tant que la fabrication du sucre de betterave est restée un objet d'exploitation agricole, elle a pu faire concurrence au sucre des colonies ; les feuilles, le jus de la betterave pouvaient toujours être appliqués à la nourriture des bestiaux, et leur valeur s'élevait naturellement avec le prix du blé ; mais, comme objet particulier de spéculation, la fabrication du sucre

ber en décadence. Dans le procédé *Schützenbach*, que des négociants spéculateurs ont adopté avec un si grand empressement, on consommait une certaine quantité de combustible pour retirer toute l'eau des betteraves, ensuite on employait de nouveau de l'eau pour lessiver les betteraves desséchées; l'évaporation de cette eau coûtait encore du combustible; enfin, il restait un résidu tout-à-fait impropre à la nourriture des bestiaux, et dont on ne pouvait se servir, tout au plus, que comme fumier. Faisons maintenant un petit calcul. D'après la méthode agricole, on obtient, de 100 livres de betteraves, 75 livres de jus, lequel rendait 5 livres de sucre. Supposons maintenant que par le procédé *Schützenbach* on obtienne 8 livres de sucre avec 100 livres de betteraves; mais pour dessécher celles-ci j'ai besoin d'évaporer, en moyenne, 86 livres d'eau; il me faut, de plus, 20 livres d'eau pour lessiver complétement le résidu desséché, quantité d'eau qu'il faut encore évaporer. J'obtiens donc, en somme, de 86 + 20 = 106 livres de liquide, 8 livres de sucre, ou soit, pour 70 livres de liquide qu'il faut évaporer, un peu plus de 5 1/4 livres de sucre. Il est vrai que maintenant j'obtiens, d'un poids égal de betteraves, 3 livres de sucre de plus; mais sur ces 3 livres de plus retombent tous les frais de fabrication, et, en outre, je les paie avec toute la valeur du marc de betterave que je regarde comme perdu; de sorte que ces 3 livres me reviennent plus cher que si je les avais achetées tout simplement en betteraves.

L'argent ne fait plus, de nos jours, la richesse d'un état; et, lors même que nous possèderions dans les plaines du Rhin des couches de diamants aussi riches

que celles de Golconde, de Visapour et du Brésil, elles vaudraient à peine le travail qu'elles exigeraient, attendu que, les frais bruts de leur exploitation dans ces localités étant, en moyenne, de 17 à 18 florins le carat, ils reviendraient, chez nous, trois ou quatre fois plus cher. A ce prix, toutefois, personne ne voudrait acheter de diamants. Lorsque la main-d'œuvre est à bas prix, un certain nombre de personnes, dans le pays de Bade, s'occupent du lavage du sable aurifère du Rhin; aussitôt que le prix de la main-d'œuvre s'élève, cette source de travail cesse de donner du profit; elle tarit d'elle-même. C'est ainsi que la fabrication du sucre de betterave offrait, il y a douze à treize ans, des avantages qu'elle n'offre plus aujourd'hui; et, au lieu de chercher à le maintenir par de grands sacrifices, il est bien plus rationnel, en bonne économie politique, de cultiver d'autres produits d'une valeur beaucoup plus grande, et de les échanger pour du sucre. Non seulement l'état y gagnera, mais nous y gagnerons tous aussi. En France et en Bohême, la relation qui existe entre le prix du sucre et celui du combustible, étant toute différente de celle qui existe chez nous, on ne peut pas établir, sous ce rapport, de comparaison entre ces pays et l'Allemagne.

La fabrication du gaz d'éclairage par le charbon de terre, par la résine, et par les huiles, est placée chez nous sur un terrain tout aussi stérile. Le prix des matières qui sont propres à l'éclairage est, en Angleterre, dans un rapport direct avec le prix du blé; suif et huile ne sont que des formes différentes signifiant fourrage et rente de la terre. En Angleterre le suif et l'huile coûtent

le double de chez nous; le fer et le charbon de terre y coûtent deux tiers de moins; eh bien! même dans ce pays, la fabrication du gaz d'éclairage n'offre de l'avantage que parce que le charbon qui a été soumis à la distillation (le coke) y a de la valeur.

On regarderait sans doute comme une des plus grandes découvertes de notre siècle que quelqu'un parvînt à condenser le gaz du charbon de terre, de manière à le transformer en un corps blanc, solide, sec et sans odeur, qu'on pût mettre dans un flambeau et transporter d'un endroit à un autre; ou bien en une huile liquide, sans couleur et sans odeur, qu'on pût brûler dans des lampes; car, cire, suif et huile sont du gaz inflammable à l'état de corps solides, ou à l'état liquide, qui nous offrent précisément beaucoup d'avantages que le gaz d'éclairage ne possède pas; lorsqu'on les brûle dans des lampes construites convenablement, ils développent la même quantité de lumière; leur combustion est précédée, dans tous les cas, d'une gazéification, sans qu'on ait besoin, pour cela, comme dans les fabriques de gaz, d'un appareil particulier. Pour certains buts, tels que l'éclairage des grandes villes, celui des hôtels, où il faut porter en ligne de compte, soit les pertes qui résultent du suif ou de l'huile dérobés, soit un capital pour le nettoyage des lampes, le prix élevé du gaz d'éclairage se trouve alors compensé; mais, même dans ce cas, une grande partie des avantages résulte de la vente du coke. Partout où on ne pourra le vendre, on doit s'at-
[illegible]dre à des pertes. Dans les localités comme à Franc-
r-le-Mein, où l'on produit le gaz avec de la résine,
[illegible] l'huile de térébenthine, ou avec d'autres huiles à

bas prix, la fabrication du gaz offrira quelques avantages, tant que ce mode d'éclairage ne se pratiquera pas sur une grande échelle. Si plusieurs grandes villes se procuraient de la lumière par ce moyen, il en résulterait, comme conséquence immédiate, que les prix de ces matières hausseraient; car, pour ne citer qu'un exemple, toute l'huile de térébenthine qu'on trouve dans le commerce suffirait à peine pour l'éclairage de deux villes comme Berlin et Munich; et l'on ne peut fonder aucun calcul sur le prix actuel de ces matières dont la fabrication, prise en elle-même, ne peut être un objet d'industrie. Dans la Hesse Courlandaise, où il y a les charbons excellents de Schmalcaden, l'éclairage au gaz serait le plus avantageux, et c'est précisément dans ces contrées qu'on ne le connaît pas. Au lieu de faire du coke dans le voisinage des mines de charbon, et de ne tirer aucun parti du gaz qui se produit, comme cela a lieu dans ce moment, il serait, sans contredit, plus avantageux de transporter le charbon à Cassel, d'y faire le coke en vases clos, et d'y mettre le gaz à profit pour l'éclairage.

ONZIÈME LETTRE.

Isomérie, ou identité de constitution dans des corps ayant des propriétés chimiques et physiques différentes. — Cristallisation. — Amorphisme. — Isomorphisme, ou identité de forme dans les corps dont la composition est tout-à-fait différente.

La forme et les propriétés dont les corps paraissent doués à l'œil nu, la couleur, la transparence, la dureté, etc., leurs propriétés physiques proprement dites, ont été pendant longtemps considérées comme dépendantes de la nature de leurs éléments ou de leur constitution. Il y a peu d'années encore, on ne pouvait s'imaginer qu'un seul et même corps pût être de deux manières; et il était admis, en quelque sorte comme un principe, que deux corps qui renfermaient les mêmes éléments, dans le même rapport de poids, devaient nécessai-

rement posséder des propriétés identiques. Comment aurait-il pu se faire, s'il en eût été autrement, que les philosophes les plus profonds eussent regardé la combinaison chimique comme une pénétration, la matière comme divisible à l'infini; et qu'ils eussent soutenu une telle opinion? Jamais erreur ne fut plus grossière. En effet, si la matière était composée de particules infiniment petites, elle serait sans poids; et un milliard de ces particules mises ensemble ne pourraient pas peser plus qu'une seule partie infiniment petite. Les parties mêmes de la matière impondérable qui se trouvent en mouvement, et qui produisent sur notre rétine cette impression dont la perception fait pour nous la lumière, ne sont pas infiniment petites dans le sens mathématique. Une pénétration des parties constituantes, pour la formation d'une combinaison chimique, suppose que les parties constituantes *a* et *b* n'occupent qu'un seul et même lieu; il en résulterait que des propriétés inégales, pour une constitution égale, ne seraient pas possibles.

Cette opinion, comme toutes celles de la philosophie naturelle des temps passés, est encore tombée sans que personne se soit donné la peine de la maintenir. La puissance de la vérité, telle qu'elle ressort de l'observation, est irrésistible. On a découvert dans la nature organique un grand nombre de combinaisons qui, avec une constitution égale, possèdent des propriétés extrêmement différentes; on leur a donné le nom de *corps isomères*. Telle est la grande classe des huiles essentielles à laquelle appartiennent l'huile volatile de térébenthine, l'huile de citron, le baume de copahu, l'huile volatile

de romarin, celle de genièvre et plusieurs autres, lesquelles huiles, quelles que soient les différences qu'elles offrent dans leurs odeurs, dans leurs effets médicaux et dans leurs points d'ébullition, etc., renferment, toutes, les mêmes proportions de carbone et d'hydrogène, sans qu'aucune d'elles renferme plus de la même partie intégrante que l'autre.

Dans quelle merveilleuse simplicité nous apparaît la nature organique considérée de ce point de vue! Avec deux poids égaux de deux parties constituantes, elle produit une très grande variété de combinaisons du genre le plus remarquable. On a découvert des corps, tels que la partie intégrante et cristallisable de l'huile de rose, qui sont solides et volatils à la température ordinaire, et dont la constitution est identique avec celle du gaz qui, en brûlant, nous éclaire, ainsi qu'avec celle d'une douzaine d'autres corps qui ont tous des propriétés extrêmement différentes.

Ces résultats, qui sont d'une si haute importance à cause de leurs relations plus étendues, n'ont pas été admis, sans preuves suffisantes, comme des vérités. Depuis longtemps on avait connaissance de quelqués observations isolées de ce genre; mais elles sont restées errantes dans le domaine de la science, jusqu'à ce qu'enfin on ait trouvé des corps à l'égard desquels on ait pu donner des preuves encore plus frappantes que celles fournies par l'analyse, sur l'égalité absolue de leur constitution, avec des propriétés extrêmement inégales qui ont pu être à volonté ramenées de l'une à l'autre, ou transformées réciproquement. On a trois de ces corps dans l'acide cyanurique, dans l'hydrate d'acide cya-

nique, et dans la cyamélide. L'acide cyanurique est soluble dans l'eau, cristallisable, capable de former des sels avec les oxides métalliques; l'hydrate d'acide cyanique est un liquide volatil, corrosif au plus haut degré, qui ne peut être mis en contact avec l'eau sans se décomposer; la cyamélide forme une masse blanche, d'un aspect de porcelaine, et entièrement insoluble dans l'eau. L'acide cyanurique renfermé dans un vase de verre fermé hermétiquement, se convertit en hydrate d'acide cyanique sous l'influence d'une température plus élevée; et celui-ci, à la température ordinaire, se convertit spontanément en cyamélide, sans qu'une seule partie constituante s'en sépare, et sans qu'aucun corps soit venu du dehors s'y ajouter.

On peut à volonté transformer la cyamélide en acide cyanurique, ou en hydrate d'acide cyanurique. C'est dans une relation semblable que se trouvent, l'un à l'égard de l'autre, l'aldéhyde, la métaldéhyde et l'élaldéhyde; l'urée et le cyanate d'ammoniaque; de telle sorte que l'un de ces corps peut être converti en l'autre, sans qu'il y ait intervention d'aucune autre substance.

L'idée seule que la matière n'est pas divisible à l'infini, qu'elle est formée d'atomes indivisibles, suffit pour se rendre compte de ces phénomènes. Les atomes ne se pénètrent pas l'un l'autre dans la combinaison chimique; ils ne s'arrangent que d'une certaine manière, et de cet arrangement dépendent leurs propriétés. Lorsqu'une cause extérieure de perturbation vient les faire changer de place, ils se combinent d'une manière nouvelle, et il en résulte un autre corps ayant des propriétés tout-à-fait différentes. Un atome d'un corps

peut se combiner avec un atome d'un autre corps; deux atomes de l'un peuvent se combiner avec deux atomes de l'autre; quatre avec quatre; huit avec huit, pour former un seul atome composé; dans toutes ces combinaisons, la composition exprimée en centièmes est absolument la même, et pourtant les propriétés chimiques doivent être différentes, puisque, dans ces cas, nous avons des atomes composés dont l'un contient deux, l'autre quatre, le troisième huit ou seize atomes simples.

Un grand nombre d'observations des plus remarquables sont sorties de ces découvertes; une foule de secrets se sont dévoilés de la manière la plus naturelle. C'est ainsi qu'avec l'*amorphisme* on a acquis une notion nouvelle par laquelle on se représente un état particulier qui est l'opposé de cristallisation. Dans un milieu cristallisant, on observe un mouvement continuel; les plus petites parties se repoussent dans une direction; elles s'attirent dans une autre; comme si elles étaient des aimants; et elles se juxtaposent l'une à côté de l'autre; elles prennent une forme régulière qui ne change plus tant que les conditions restent les mêmes. Cependant cela n'arrive pas toutes les fois que les particules passent de l'état liquide, ou de l'état gazeux à l'état de corps solide. Pour qu'un cristal se forme, il faut du temps et du mouvement. Si nous forçons un corps liquide ou gazeux à se solidifier subitement, si nous ne laissons pas à ses particules le temps de s'arranger dans le sens où leur attraction (force de cohésion) est la plus forte, il ne se formera pas de cristaux; elles réfracteront la lumière d'une autre manière; elles auront une autre couleur, une autre dureté, et un mode

d'adhésion différent. C'est ainsi que nous connaissons un cinabre rouge, et un cinabre noir comme du charbon; un soufre solide et dur, et un soufre transparent, mou, qu'on peut étirer en longs filaments; un verre à l'état de corps opaque et blanc comme du lait, assez dur pour faire feu au briquet, et un verre à l'état ordinaire, transparent et à cassure conchoïdale. Ces états, si dissemblables dans leurs propriétés, résultent, dans l'un des cas, d'une juxtaposition régulière; dans l'autre, d'une juxtaposition irrégulière de leurs atomes; le corps est amorphe dans un cas; dans l'autre il est cristallisé. On a, par là, toute raison de croire que l'argile schisteuse, que quelques espèces de grauwacks, ne sont autre chose que du feldspath, du schiste micacé ou du granit amorphe; de même que le calcaire de transition est du marbre amorphe; de même aussi que le basalte et la lave sont un mélange amorphe de zéolite et d'*augite*.

Tout ce qui a de l'influence sur la force de cohésion doit faire changer, jusqu'à un certain degré, les propriétés des corps. Le carbonate de chaux qui a cristallisé à froid, a pris la forme de cristallisation, la dureté, et la faculté de réfracter la lumière du spath calcaire; celui qui a cristallisé sous l'influence de la chaleur, possède la forme et les propriétés de l'aragonite.

L'isomorphisme enfin, l'identité de forme, avec une constitution semblable dans beaucoup de combinaisons chimiques, tous ces faits paraissent indiquer que la matière est formée d'atomes dont l'arrangement détermine les propriétés des corps. On pourrait presque se demander si beaucoup de corps que nous comptons au

nombre des éléments, ne sont peut-être pas des modifications d'un seul et même corps; si ce n'est pas la même matière dans différents états de juxtaposition? Nous connaissons une double disposition de ce genre dans le fer. Dans l'une, il se comporte dans la série électrique comme le platine; dans l'autre, il s'y comporte comme le zinc; on a même construit avec ce seul métal les piles galvaniques les plus puissantes. Le platine et l'iridium; le chlore, le brome et l'iode; le fer, le manganésium et le magnésium; le cobalt et le nickel; le phosphore et l'arsenic, ont entre eux, il est vrai, beaucoup de propriétés communes; mais on oublie ordinairement que leur ressemblance ne s'étend que sur leurs combinaisons proportionnelles. Celles-ci ne sont semblables que parce qu'elles sont composées d'atomes qui y sont arrangés de la même manière. Le nitrate de strontiane devient absolument dissemblable à lui-même quand il reçoit dans sa composition un certain nombre d'atomes d'eau. Si nous regardons le sélénium comme du soufre modifié, et le phosphore comme de l'arsenic modifié, comment se fait-il alors, peut-on se demander, que l'acide phosphorique et l'acide arsénique, que l'acide sulfurique et l'acide sélénique, fournissent des combinaisons qui, par leur forme, leur solubilité, etc., ne peuvent absolument être distinguées l'une de l'autre? Deux combinaisons qui sont isomères entre elles manifestent précisément des propriétés différentes. Nous n'avons jusqu'ici aucune raison, même la plus éloignée, de croire qu'un élément se laisse transformer en un autre. Une telle transformation implique que l'élément contient deux ou plusieurs parties constituantes. Tant

que ce fait ne sera pas confirmé, des considérations de ce genre demeureront sans importance. C'est ainsi que M. Brown, à Édimbourg, aurait transformé le fer en rhodium, le paracyanogène en silicium. Aujourd'hui que son travail a paru dans les Mémoires de la Société royale d'Édimbourg, on peut en déduire la preuve, sans même avoir besoin de répéter ses expériences, que les principes de l'analyse chimique sont tout-à-fait inconnus à l'opérateur; ses expériences ont été répétées, et elles ont confirmé que sa déclaration ne prouve que son ignorance. Son rhodium n'est autre chose que du fer; et son silicium qu'un charbon impur et difficile à brûler.

DOUZIÈME LETTRE.

Influence des forces mécaniques sur la formation et sur la décomposition des combinaisons chimiques. — Effet de la chaleur sur l'affinité.—Constitution des combinaisons organiques, plus complexes, comparativement, que celles des substances minérales. —Cause de la décomposition plus facile des premières. — La chaleur est la cause déterminante de la forme dans les combinaisons inorganiques.—La chaleur, la lumière, et notamment la force vitale, sont les causes qui déterminent la forme et les caractères des combinaisons organiques.

Ni la chaleur, ni la force électrique, ni la force vitale ne sont capables de donner aux molécules de deux matières hétérogènes l'adhésion qu'il leur faut pour former un groupe et pour s'unir à l'état de combinaison; il n'y a que la force chimique qui puisse le faire.

Partout dans la nature organique, dans toutes les

combinaisons qui sont le produit de l'organisme vivant des animaux ou des végétaux, nous rencontrons les mêmes lois, nous observons les mêmes rapports fixes et invariables de combinaison que dans la nature inorganique.

La substance du cerveau, celle des muscles, les parties constitutives du sang, celles du lait, de la bile, etc., sont des atomes composés, dont la formation et l'existence dépendent de l'affinité qui agit entre leurs plus petites particules. C'est l'affinité, et non une autre force, qui produit leur union; séparées du corps vivant, privées de l'influence de la force vitale, il n'y a plus que les forces chimiques qui déterminent encore leur existence. C'est de la direction et de l'intensité de celles-ci que dépend la résistance, ou plus forte ou plus faible, qu'elles opposent aux causes extérieures de dérangement, aux forces extérieures qui tendent à vaincre l'attraction chimique. Mais la lumière, la chaleur, la force vitale, la gravitation, exercent une influence bien prononcée sur le nombre des atomes simples qui se combinent pour former un atome composé, et sur la manière dont ceux-ci se juxtaposent; ce sont ces agents qui déterminent les caractères, les propriétés des combinaisons, parce qu'ils sont doués de la faculté de donner du mouvement aux atomes qui sont en repos, et de neutraliser par leur résistance les autres mouvements.

La lumière, la chaleur, la force vitale, la force électrique, le magnétisme, la gravitation, se manifestent comme forces de mouvement et de résistance, et, comme telles, elles modifient la tendance et la puis-

sance de la force chimique ; elles peuvent ou l'augmenter, ou la diminuer, ou la neutraliser.

Le mouvement mécanique seul suffit pour donner une direction déterminée à la force de cohésion des corps qui cristallisent, et pour changer celle de l'affinité dans les combinaisons chimiques. Nous pouvons refroidir l'eau qui est dans un état de repos parfait, beaucoup au-dessous de son point de congélation, sans qu'elle cristallise; dans cet état, il suffit du contact de la pointe d'une aiguille pour que, en un instant, toute la masse se solidifie et devienne de la glace. Pour se former en cristaux, il faut que les plus petites particules soient mises en mouvement; il faut qu'elles changent de place et de position, afin de pouvoir se juxtaposer dans les directions de leur plus forte attraction. Il y a un grand nombre de solutions saturées à chaud qui, dans un état de repos parfait, ne déposent pas de cristaux pendant leur refroidissement; il suffit qu'on y jette le plus léger corpuscule, un grain de sable, pour y introduire la cristallisation; et une fois que le mouvement est imprimé, il se propage de lui-même; l'atome qui l'a reçu donne le choc à celui qui est le plus rapproché de lui, et de cette manière le mouvement se communique à tous les autres atomes.

Lorsque nous mettons du mercure métallique dans une solution de foie de soufre, aussitôt la surface de cette solution se couvre de sulfure de mercure, qui est noir et amorphe, ce qui se renouvelle autant de fois qu'on enlève la couche superficielle de sulfure qui s'est formée. Si nous introduisons le mélange dans une bouteille bien bouchée, et si nous attachons celle-ci,

dans une scierie mécanique, au cadre d'une scie qui fait plusieurs mille fois, dans une heure, le mouvement de haut en bas, alors la poudre noire passe au plus beau cinabre rouge, lequel ne diffère du cinabre noir que par sa constitution cristalline.

La dureté de la fonte ordinaire, sa nature cassante, sa texture cristalline, sont dues à la présence d'une certaine quantité de carbone; le fer pur, exempt de carbone, n'est que très rarement cristallin. Le fer météorique se distingue du fer spéculaire, précisément en ce qu'il réunit à une texture qui est cristallisée de la manière la mieux déterminée, la plus grande malléabilité, telle à peu près que celle du fer forgé très pur; cependant une barre de fer forgé est tenace, fibreuse dans sa cassure, et sa section ne présente pas de cristaux, mais un grain pêle-mêle sans aucune apparence d'ordre. Lorsqu'on le polit, et qu'on le mouille avec un acide, sa surface n'offre aucun des dessins qui appartiennent particulièrement au fer cristallin. Toutefois, lorsque la barre a été pendant longtemps soumise au choc d'un marteau frappant des coups faibles mais toujours répétés, on voit que les plus petites particules, que les atomes du fer ont changé de position; que, par suite du mouvement mécanique auquel on les a soumis, ils se sont placés dans la direction de leur attraction la plus forte; que la barre est devenue cristalline, cassante comme de la fonte; que la cassure n'en est plus fibreuse mais unie et brillante. Ce phénomène se produit plus ou moins promptement dans les essieux de fer des locomotives et des voitures de voyage, et devient la cause d'accidents qu'on ne peut prévoir.

Mais ce n'est pas seulement sur la forme extérieure, sur la constitution et sur la juxtaposition des particules homogènes, que les forces mécaniques ont une influence déterminante ; c'est aussi sur l'arrangement des atomes hétérogènes, sur le mode d'existence des compositions chimiques. Le frottement le plus faible, le moindre choc suffisent pour produire une explosion avec le fulminate de mercure ou avec l'argent fulminant; le simple contact avec une barbe de plume détermine la décomposition de l'ammoniure d'argent et de l'azoture d'iode. Une simple communication de mouvement imprimée aux atomes, change, dans ces cas, la direction de l'attraction chimique; par suite du mouvement qui s'est opéré, les atomes ont formé de nouveaux groupes; leurs éléments se sont réunis de manière à donner de nouveaux produits.

L'influence que la chaleur exerce sur la manifestation de l'affinité se reproduit beaucoup plus souvent, et d'une manière encore plus visible; en tant qu'elle surmonte les résistances qui s'opposent à l'effet de l'affinité, la chaleur facilite la formation des combinaisons chimiques et lui sert de moyen; lorsqu'elle s'oppose elle-même à l'affinité, elle change la direction de l'attraction, elle modifie la juxtaposition des atomes, elle empêche et elle anéantit les manifestations de cette affinité. L'attraction que les atomes hétérogènes ont réciproquement l'un pour l'autre, dans les faibles degrés de chaleur, n'est pas la même que celle qu'ils ont à des degrés plus élevés ; dans les degrés les plus élevés qu'on puisse imaginer, la combinaison chimique n'a plus lieu.

Il se forme, pendant l'hiver, dans une solution de sel marin exposée à un haut degré de froid, des prismes longs, beaux, transparents et limpides comme de l'eau, lesquels renferment plus de 38 pour cent d'eau à l'état de combinaison chimique; le sel marin cristallisé à la température ordinaire, est toujours privé d'eau. Au moindre attouchement de la main, les cristaux qui renferment de l'eau deviennent blancs comme le lait et opaques; si on les tient dans la main, ils se liquéfient en une bouillie composée de petits cubes de sel marin ordinaire. La faible différence de 10° de température fait que les particules de sel marin qui vont cristalliser, manifestent pour l'eau une affinité qu'elles ne possèdent plus, même au point de congélation.

Lorsque le carbonate de chaux cristallise dans l'eau froide, ses molécules se rangent dans la forme du spath calcaire, à double réfraction, d'Islande; s'il cristallise dans l'eau chaude, nous l'obtenons sous la forme de l'aragonite. Ces deux minéraux, si incompatibles dans leurs formes de cristallisation, si différents dans leur dureté, dans leurs poids spécifiques, dans leurs facultés de réfracter la lumière, renferment absolument les mêmes quantités d'acide carbonique et de chaux. Nous voyons, par cet exemple, que quand les particules du carbonate de chaux se solidifient sous l'influence d'une empérature élevée, elles forment un corps tout-à-fait différent quant à ses propriétés physiques; toutefois, ce qui est encore plus remarquable, c'est que quand nous chauffons un cristal d'aragonite jusqu'à le faire rougir faiblement, si nous l'exposons ainsi à une tem-

pérature plus élevée que celle où il s'est formé, il s'opère alors un mouvement dans toute sa masse; sans éprouver le moindre changement dans son poids, il se gonfle sous forme de chou-fleur, et il se convertit en un amas de petits cristaux dont chacun possède la forme rhomboédrique du spath calcaire ordinaire.

Un œuf de poule éprouve, sous l'influence d'une température de 75°, un changement total dans toutes ses propriétés; le blanc, liquide, à peine coloré en jaune, devient d'un blanc de porcelaine; ses plus petites particules perdent toute leur mobilité; nous voyons que, sans que rien de matériel y soit ajouté ou enlevé, il s'y opère la transformation la plus remarquable. Avant d'être chauffées, les parties de ce blanc étaient solubles dans l'eau, susceptibles de se mélanger avec elle en toute proportion; par l'effet du mouvement produit par la chaleur, elles ont perdu cette faculté; ses atomes se sont groupés d'une autre manière, et il est résulté de cette nouvelle disposition que ses propriétés ont été changées. Les forces chimiques qui agissent sur les particules du blanc d'œuf sont la cause dernière de leur nouvelle disposition. Sous cette forme nouvellement acquise, ces particules manifestent maintenant contre la cause qui agit comme force perturbatrice, c'est-à-dire contre la chaleur, une résistance qu'elles n'offraient pas primitivement.

Tous les corps organiques se comportent de cette manière; il sont tous, sans exception, susceptibles de changements et de destruction sous l'influence d'une température plus ou moins élevée; la résistance de leurs atomes, celle que la force qui agit en eux oppose

à la cause perturbatrice, se manifeste toujours par une nouvelle forme résultant d'une nouvelle disposition de ces atomes. Un seul atome composé donne lieu à un, à deux, ou à trois nouveaux groupes dont les atomes se sont constitués dans un ordre tel, qu'il y ait toujours entre eux un état d'équilibre. Dans les nouveaux produits qui se sont formés, la résistance de la force chimique est plus forte qu'elle n'était dans le corps primitif; la somme d'affinité n'y est pas devenue plus grande, elle y a pris seulement une direction plus forte et plus intense.

On se rendra plus sensible ce qui est désigné ici sous le nom de direction, en observant une molécule d'eau dans le milieu d'un verre plein de ce liquide.

La molécule d'eau qui se trouve au milieu de la masse liquide est attirée par toutes les molécules qui l'entourent immédiatement, et elle exerce sur celles-ci une attraction égale ; il n'y a pas d'attraction plus forte d'un côté que de l'autre. La grande mobilité et le déplacement de la molécule d'eau reposent précisément sur ce que toutes les forces attractives qui exercent de l'influence se trouvent à l'état d'équilibre. La plus petite force extérieure suffit pour la mettre en mouvement; la moindre différence de température qui vient augmenter ou diminuer sa densité la fait changer de place.

Si cette molécule était attirée plus d'un côté que d'un autre, elle se mouvrait dans la direction de la plus forte attraction, ou bien elle aurait besoin d'une certaine quantité de force pour s'éloigner du lieu où elle serait retenue par cette attraction. C'est précisément

dans cet état que se trouvent les molécules d'eau qui sont à la surface du liquide ; elles y sont moins mobiles que les molécules qui leur sont inférieures; elles y sont, comme par l'effet d'une pression extérieure, plus rapprochées, plus denses, plus serrées. Avec quelques précautions, on peut maintenir, surnageant à la surface, une aiguille fine d'acier qui, plongée, tombe promptement au fond. Cette adhésion plus forte à la surface résulte de ce que les molécules d'eau n'y sont attirées et n'y manifestent de l'attraction que dans *une seule direction;* à la force attractive qui s'exerce de bas en haut, il ne s'oppose, comme résistance, aucune attraction venant de molécules d'eau plus élevées. Pour qu'il y ait chute de haut en bas, il faut nécessairement que les molécules de la surface fassent place à l'aiguille, qu'elles lui cèdent le pas; il faut, en un mot, qu'elles soient déplacées ; cependant elles ne cèdent point, quoique l'aiguille exerce sur elles une pression sept à huit fois plus grande que ne le ferait une petite masse d'eau de même dimension.

C'est d'une manière tout-à-fait semblable que se comporte, dans les combinaisons chimiques, la force attractive qui tient leurs parties intégrantes unies entre elles. Les directions de cette force attractive se multiplient avec le nombre des éléments, avec le nombre des atomes qui sont réunis en un même groupe; la force attractive diminue dans le même rapport que la mul titude des directions. Deux atomes réunis, formant une combinaison, ne peuvent s'attirer que par un seul côté; toute la somme de leurs forces attractives ne se manifeste que dans cette seule direction; si un deuxième, un troi-

sième atome viennent s'y ajouter, il faut qu'une partie de cette force soit employée à attirer et à fixer encore ces derniers. La conséquence naturelle qui en résulte, c'est que l'attraction réciproque de tous les atomes devient plus faible; ceux-ci opposent une résistance moins grande qu'auparavant aux causes extérieures qui tendent à les déplacer.

Il existe ici cette grande différence entre les corps organiques et les substances minérales, que les premiers sont des combinaisons d'un ordre supérieur, que, quoiqu'ils ne consistent qu'en trois ou quatre, ou, tout au plus, cinq éléments, leurs atomes sont cependant plus complexes. Une particule de sel marin, la plus petite particule de cinabre, ne présentent qu'un groupe de deux atomes et pas davantage; mais un atome de sucre en contient trente-six; la plus petite particule d'huile d'olive renferme plusieurs centaines d'atomes simples. Dans le sel marin, l'affinité ne se manifeste que dans une seule direction; dans l'atome de sucre, elle s'exerce dans trente-six directions différentes. Sans qu'il soit besoin d'y rien ajouter, ni d'en rien retrancher, nous pouvons nous figurer de mille manières différentes l'arrangement dans lequel les trente-six atomes simples sont disposés dans l'atome de sucre; dans chaque changement qui peut survenir dans la position d'un seul de ces atomes, l'atome composé cesse d'être un atome de sucre, car les propriétés qui le caractérisent changent avec le mode de disposition de ces atomes.

Dans les atomes organiques, comme dans tous ceux des ordres supérieurs, il faut que les causes de mou-

vement, que celles d'un dérangement dans l'affinité, soient capables de produire des changements qui n'aient aucune influence décomposante sur les atomes qui se trouvent constitués d'une manière plus simple, tels, par exemple, que ceux qui appartiennent aux substances du règne minéral.

La faculté que possèdent les corps organiques de se décomposer plus facilement par la chaleur par exemple, provient d'un mode de composition plus étendu, et de la force moindre avec laquelle les éléments de ces corps s'attirent réciproquement. Une fois que leurs atomes sont mis en mouvement, ou que, par l'effet de la chaleur, ils sont portés à une distance plus grande, ils se groupent en atomes composés simples, dans lesquels la force attractive agit dans un moins grand nombre de directions, et dans lesquels les atomes opposent une résistance d'autant plus forte à d'autres dérangements.

Les minéraux, les combinaisons inorganiques, se sont formés par l'effet libre et spontané de l'affinité chimique; mais le mode et le caractère de leur union, leur disposition, ont été dépendants des causes extérieures et étrangères qui y ont concouru; ces dernières ont été la cause déterminante sous le rapport de la forme et de ses propriétés. Si, pendant la combinaison, la température avait été plus élevée ou plus basse, les atomes se seraient groupés d'une manière tout-à-fait différente.

De la même manière que la chaleur agit dans les combinaisons inorganiques, de même agissent aussi la chaleur, la lumière et principalement la force vitale,

comme causes déterminantes de la forme et des propriétés des combinaisons qui se produisent dans l'organisme. Ce sont ces causes qui déterminent le nombre des atomes qui se combinent, ainsi que leur genre et leur mode de groupement. Nous pouvons composer un cristal d'alun au moyen de ses éléments de soufre, d'oxigène, de potassium et d'aluminium, parce que nous pouvons disposer sans obstacle, jusqu'a une certaine limite, de leur affinité chimique, ainsi que de la chaleur, et déterminer par la leur groupement. Nous ne pouvons toutefois composer un atome de sucre au moyen de ses éléments, parce que, à leur mode de réunion sous la forme qui est particulière au sucre, a concouru la force vitale, qui n'est pas à nos ordres comme le sont la chaleur, la lumière, la gravitation, etc. Mais quand les éléments se sont une fois réunis en un atome organique, alors ils rentrent dans la classe des autres combinaisons chimiques; nous sommes alors en état de porter dans plusieurs directions, de changer, d'augmenter et de neutraliser la force qui agit sur leurs atomes, et qui les retient ensemble; nous pouvons produire des atomes d'un ordre supérieur avec deux, trois, quatre atomes composés organiques, en les combinant l'un avec l'autre; nous pouvons faire que les atomes les plus composés se décomposent en atomes plus simples; avec du bois et de l'amidon, nous pouvons produire du sucre; avec du sucre, nous pouvons produire de l'acide oxalique, de l'acide lactique, de l'acide acétique, de l'aldéhyde, de l'alcool, de l'acide formique; et cependant

ne pouvons produire aucune de ces combinaisons avec leurs seuls éléments.

La force vitale n'a pas la moindre influence dans la réunion des éléments en une combinaison chimique; aucun élément n'est capable, par lui-même, de servir à la nourriture et au développement d'une plante ou de l'organisme animal. Toutes les substances qui prennent part aux fonctions de la vie sont des groupes inférieurs d'atomes simples, qui se réunissent en atomes d'un ordre supérieur sous l'influence de la force vitale. La force chimique, sous la puissance de la chaleur, détermine la forme, les propriétés des groupes les plus simples; la force vitale détermine la forme et les propriétés des groupes supérieurs qui constituent des atomes organisés.

TREIZIÈME LETTRE.

Transformation des combinaisons organiques aussitôt qu'elles sont privées de l'influence de la force vitale. — Fermentation, putréfaction et combustion lente. — Le mouvement est la cause de ces transformations. — Fermentation du jus de raisin. — Levûre. — Transformation de l'aldéhyde. — Agents de fermentation en général. — Le mode de fermentation dépend de la manière dont se groupent les atomes qui se transforment. — Fermentation alcoolique. — Fermentation visqueuse. — Formation de l'acide lactique, de l'acide butyrique, de l'huile de pommes de terre. — Causes de l'odeur et du goût des vins. — Éther acétique, éther butyrique, éther œnanthique.

Avec l'extinction de l'activité vitale, les atomes organiques ne conservent plus leur état, leur forme et leurs propriétés, que par suite de l'inertie; une grande et vaste loi de la nature démontre que la matière considérée en soi ne possède par elle-même aucune activité

Un corps mis en mouvement ne perd son mouvement que lorsqu'il éprouve de la résistance; il faut qu'une cause extérieure agisse sur un corps en repos, pour qu'il puisse se mouvoir et manifester de l'activité.

Les parties constituantes des tissus des plantes et des animaux ont pris naissance par la puissance de la force vitale; c'est celle-ci qui détermine la direction de l'attraction des éléments; elle est une force motrice capable de donner du mouvement aux atomes en repos, et d'opposer de la résistance aux autres forces actives, à la force chimique, à la chaleur, à la force électrique. Nous pouvons bien dissoudre et liquéfier de nouveau l'albumine qui a été coagulée par l'effet de la chaleur; mais il n'y a que la force vitale qui soit capable de rendre aux éléments des particules les plus petites leur disposition primitive telle qu'elle existait dans l'œuf.

L'albumine de la chair cuite devient de nouveau, dans l'organisme, de l'albumine, de la chair musculaire et du sang.

Dans la formation des tissus des plantes et des animaux, la force vitale s'est opposée, comme résistance, aux autres forces, à celle de la cohésion, à la chaleur, à la force électrique, lesquelles, en dehors de l'organisme, rendent impossible la réunion des atomes en combinaisons d'ordres supérieurs; la force vitale a neutralisé leur influence perturbatrice comme manifestation de la force chimique, elle a favorisé la formation de ces tissus de la même manière que la chaleur facilite, favorise, ou en général rend possible la production des nbinaisons inorganiques en neutralisant ou en diuant les résistances qu'opposent d'autres forces.

Dans les combinaisons composées comme le sont les atomes organiques, ce sont précisément ces autres forces qui donnent lieu à des changements dans leurs propriétés, lorsque après la mort la force vitale ne s'oppose plus à leur effet; le contact de l'air, l'action chimique la plus faible, suffisent dans ce cas pour opérer une transformation, pour donner lieu à un nouvel ordre d'atomes, à une décomposition. Il se produit alors les phénomènes remarquables qu'on appelle fermentation, putréfaction et combustion lente; ce sont des effets de décomposition qui ont pour derniers résultats de ramener les éléments dans l'état où ils se trouvaient avant qu'ils prissent part aux fonctions de la vie. Par suite de ces réactions, les atomes organiques les plus composés sont réduits à ne plus former que des combinaisons les plus simples possibles. Ce n'est que dans ces derniers temps qu'on est arrivé à une connaissance plus exacte des causes par lesquelles sont provoqués et entretenus ces divers modes de décomposition qui, dans leur caractère et dans leur marche, s'écartent tant des décompositions chimiques ordinaires. Il est constaté qu'aucune partie constituante de la plante ou de l'animal ne passe d'elle-même à l'état de fermentation ou de putréfaction; qu'il faut, dans tous les cas, que la chaleur et une action chimique, que le contact de l'hydrogène ou celui de l'oxigène interviennent pour que l'altération ait lieu.

Le jus de raisin, tant qu'il est préservé du contact de l'air par la pellicule qui l'enveloppe, n'éprouve qu'un changement à peine sensible; le grain se réduit successivement à l'état de raisin sec. Une piqûre 1

à l'enveloppe avec la pointe d'une aiguille à coudre suffit pour changer toutes les qualités du jus. Mis à l'abri de l'accès de l'air, ou privé de l'influence des actions chimiques qu'exerce l'oxigène de l'air sur une de ses parties constituantes, le moût se conserve pendant un temps illimité; quelque altérables que soient ses parties constituantes, il leur manque la cause provocatrice de l'altération. S'il est exposé à l'air, il s'établit, à une température convenable, un vif dégagement de gaz et un mouvement dans la liqueur; tout le sucre disparaît; la fermentation terminée, le liquide s'éclaircit; il dépose un limon jaunâtre qui est le ferment; la liqueur contient une quantité d'alcool qui correspond à la quantité de sucre.

Le ferment, isolé de la liqueur, est capable de produire dans de l'eau récemment sucrée ces mêmes phénomènes, dont le dernier résultat est une disparition du sucre, qui se décompose en acide carbonique et en alcool. Le ferment ajouté disparaît avec les particules de sucre; pendant qu'il éprouve lui-même une décomposition qui est plus lente, peu à peu il perd entièrement la propriété qu'il a de produire la fermentation dans l'eau récemment sucrée.

Les liquides provenant des animaux se comportent d'une manière tout-à-fait analogue. Le lait dans le pis de la vache, l'urine dans la vessie, n'éprouvent, à l'état normal, aucun changement dans leurs propriétés; mais au contact de l'air le lait se coagule; il s'en sépare, sans aucun dégagement de gaz, du fromage sous la forme d'une masse gélatineuse; la liqueur devient acide; et,

à mesure que l'acidification avance, la sucre de lait (la lactine) disparaît.

La fermentation du suc d'une plante, et l'acidification ou la coagulation du lait, appartiennent l'une et l'autre à une seule et même classe de phénomènes ; l'unique différence est dans la forme ou dans l'état des nouveaux produits qui se sont formés avec les parties constituantes de la liqueur. Parmi les nouveaux produits qui se forment dans la fermentation du suc du raisin, il y en a une (l'acide carbonique) qui est aériforme : voilà pourquoi il y a écume et effervescence; au contraire, les produits qui se sont formés dans l'acidification du lait restent tous en dissolution. Or, comme la forme et les propriétés des produits des fermentations sont quelque chose de tout-à-fait accidentel, on donne actuellement le nom de fermentation à toutes les transformations qui se font d'une manière analogue à celle du lait ou à celle du jus de raisin, qu'il y ait ou non dégagement de gaz. Dans la vie ordinaire, on distingue l'acte de la putréfaction de celui de la fermentation. Cette distinction, considérée sous le point de vue scientifique, ne repose pas sur les mêmes fondements, attendu que la différence n'existe que pour les nerfs olfactifs; la putréfaction est l'acte de fermentation des matières organiques azotées et sulfurées, dans lequel se forment ordinairement des produits fétides.

On a reconnu que ces phénomènes tiennent principalement à la composition extrêmement complexe des atomes organiques ; la facilité de leur changement repose sur le faible degré d'attraction qui maintient ensemble les atomes simples à l'état d'atome com

et sur leur grande mobilité. Les sucs des plantes et les liqueurs animales contiennent des matières qui, lorsqu'elles ne sont plus protégées par l'organisme, éprouvent une altération aussitôt qu'elles viennent en contact avec l'oxigène de l'air. Lorsque nous coupons par morceaux une pomme, une pomme de terre, une betterave, la surface blanche de chaque tranche se teint en brun en peu de minutes. Si l'on fait la plus petite blessure à l'écorce verte ou à une des feuilles d'une plante, il se produit dans leurs sucs des altérations semblables, bien qu'une coloration ne vienne pas toujours indiquer qu'elles s'opèrent. L'oxigène de l'air se combine avec une des parties intégrantes du suc, et au même moment cesse, pour celles-ci, leur arrangement primitif. L'équilibre de leurs attractions respectives est détruit, les atomes s'arrangent d'une autre manière; il s'est opéré un mouvement dans l'atome composé.

Le mouvement survenu est la cause même qui fait que l'action se continue.

Lorsque la fermentation a une fois commencé dans le suc d'une plante, dans le lait, dans l'urine, dans la viande, on peut alors exclure entièrement l'intervention de l'oxigène comme cause première du phénomène : la fermentation continue sans s'arrêter et sans sa coopération.

La première particule dont les atomes sont mis en mouvement par l'action chimique de l'oxigène se trouve en contact avec les atomes d'autres particules qui ont une composition semblable ou dissemblable à la sienne. Le mouvement qui a lieu dans l'intérieur de cette par-
ule agit à la manière d'un choc sur les atomes qui

sont les plus rapprochés d'elle. C'est maintenant du degré d'intensité avec lequel l'attraction agit entre les atomes de ces particules en repos qu'il dépend entièrement que le mouvement de la première particule se continue ou qu'il s'arrête. Si le mouvement est plus puissant que la résistance, il se propage dans une seconde particule : c'est alors dans celle-ci que les atomes se mettent en mouvement de la même manière et dans la même direction que dans la première particule. Il en résulte que le même arrangement donne les mêmes produits ; le mouvement ou la transformation de la seconde particule est communiqué ensuite à une troisième, à une quatrième, enfin à tous les atomes composés de la liqueur. Si la résistance ou la force qui maintient ensemble les éléments des autres atomes composés est plus puissante que la cause qui tend à opérer parmi eux un changement de place et de disposition, c'est-à-dire plus puissante que la cause qui tend à les scinder en nouveaux produits, il faut alors que l'action commencée cesse peu à peu.

Un des plus beaux exemples de transformation dans un corps non azoté, par suite d'une perturbation opérée dans ses atomes, nous est fourni par l'*aldéhyde*. C'est un liquide incolore, pouvant se mêler avec l'eau, et d'une volatilité si grande, qu'il bout déjà à la chaleur de la main (à vingt et un degrés) ; il est d'une odeur suffocante, et il a la propriété d'attirer très avidement l'oxigène de l'air, par l'action duquel il se transforme en acide acétique ; mise en contact avec de la potasse caustique, l'aldéhyde s'épaissit en une espèce de résine d'une teinte brune. Ces propriétés ont un caractère très prononcé, mais elles sont extrêmement instables. Quan

pare de l'aldéhyde, on ne peut la préserver du contact de l'oxigène de l'air. Lorsque nous la mettons dans un vase de verre, que nous fermons hermétiquement en le scellant à la lampe, il arrive toujours qu'il y a une ou plusieurs de ses plus petites particules à l'état d'union avec l'oxigène, et dans un état d'action qui devra nécessairement cesser en interceptant le contact de cet oxigène. Il est vrai que par ce moyen l'oxidation de l'aldéhyde trouve une limite; néanmoins la perturbation survenue dans l'équilibre d'attraction de ses éléments se continue. L'état du repos des atomes d'aldéhyde qui se trouvent à proximité est détruit par le mouvement qui s'est opéré dans les particules d'aldéhyde qui sont en train de s'oxider; d'où il résulte que les éléments de chacune de ces particules se constituent en un nouveau groupe tout-à-fait différent du groupe primitif; le mouvement passe de ces particules à celles qui sont les plus proches, puis de celles-ci à toutes les autres; de sorte qu'après quelques jours ou quelques semaines il n'y a plus d'aldéhyde dans le vase de verre hermétiquement fermé; il n'y a plus qu'un corps qui, par ses caractères, est bien loin d'avoir encore quelque ressemblance avec l'aldéhyde. Nous avons maintenant dans le vase une liqueur qui ne se mêle plus avec l'eau, mais qui surnage à la surface comme de l'huile; qui possède une odeur agréable d'éther, dont le point d'ébullition est de 60 degrés plus élevé que celui de l'aldéhyde, qui ne s'épaissit plus avec la potasse caustique pour former une résine, et qui ne se transforme plus en acide acétique. Cependant, malgré cette grande différence, ce nouveau corps, d'après [illegible]nstitution, est de l'aldéhyde; il est formé des

mêmes éléments dans les mêmes proportions de poids; mais les atomes se trouvent réunis dans une plus grande proximité l'un de l'autre (ce qu'on peut constater par la comparaison du poids spécifique de sa vapeur avec celui de la vapeur d'aldéhyde), et ils se sont groupés d'une tout autre manière.

On conçoit facilement que la fermentation est dépendante du temps; qu'elle ne peut, comme d'autres actions chimiques, se produire en un instant incommensurable, précisément parce que la décomposition résulte d'une transmission successive d'une molécule à une autre; de plus, il est évident que toutes les combinaisons organiques ne sont pas susceptibles de passer à l'état de fermentation. Cette faculté n'appartient qu'aux atomes composés; elle n'existe pas pour toutes les combinaisons dont les parties intégrantes sont retenues entre elles par un plus haut degré d'affinité.

Ainsi qu'on s'en aperçoit facilement (et c'est sans contredit la chose la plus remarquable dans le phénomène de la fermentation), il n'y a aucune substance, aucune matière, et par conséquent aucune affinité chimique qui vienne du dehors prendre part à la formation des nouveaux produits. C'est une simple séparation des éléments, qui s'opère par suite d'un dérangement d'équilibre dans leurs attractions. L'atome de sucre se décompose en deux atomes d'acide carbonique, et en un atome d'alcool; ces trois atomes pris ensemble renferment, sous le double rapport de la quantité et de la qualité, tous les éléments de l'atome de sucre. Nous avions de la lactine dans le lait doux; nous avons à sa place, dans le lait acide de l'acide lactique; mais la lactine et l'acide lactiq

identiques sous le rapport de leur composition; ils contiennent tous deux les mêmes éléments dans les mêmes proportions de poids; ils sont seulement arrangés d'une autre manière. Cependant, dans quelques cas, les éléments de l'eau, où ceux d'autres atomes composés, prennent une certaine part à la transformation; c'est lorsque deux, ou trois, ou un plus grand nombre d'atomes composés, en se séparant l'un à côté de l'autre en atomes plus simples, donnent lieu à des produits qui ont une affinité réciproque; dans ce cas on n'obtient pas les produits isolés, mais en combinaison les uns avec les autres.

Levûre, ferment, ou agent de fermentation, ce sont toujours des substances dont les éléments se trouvent encore à l'état de transformation et de mouvement; leur faculté de provoquer une fermentation repose précisément sur cet état qu'on ne peut naturellement pas fixer; au fur et à mesure que la transformation avance et qu'elle se termine, cet état se perd; et par là aussi la faculté que ces substances ont de produire dans d'autres atomes organiques le même acte de transformation que celui qui s'opère en elles-mêmes. Il n'y a que la levûre qu'on appelle fraîche qui soit efficace; un seul jour y apporte déjà une grande différence.

Une dissolution d'acide tannique peut être conservée pendant de longues années dans un vase fermé, sans qu'elle y éprouve la moindre altération. Cependant, dans l'état où le tannin se trouve dans l'extrait de noix de galle, il change successivement toutes ses propriétés; lorsqu'on place l'extrait dans un endroit chaud, le tannin disparaît entièrement peu à peu, et les plus beaux

cristaux d'acide gallique se déposent. Indépendamment de l'acide tannique, l'extrait de noix de galle contient encore une substance étrangère qui, au contact de l'eau, éprouve une décomposition dont l'influence fait subir à l'acide tannique une transformation semblable. C'est d'une manière analogue que se forme l'acide lactique dans les betteraves fermentées, ou dans le chou qu'on nomme choucroute.

Les parties constituantes non azotées des plantes et des animaux, le sucre, la gomme, l'amidon, la graisse, etc., pris isolément, ne passent pas à l'état de fermentation au contact de l'oxigène. Cette propriété n'appartient ordinairement qu'aux atomes plus composés, qui, indépendamment du carbone, de l'hydrogène et de l'oxigène, renferment deux éléments de plus, savoir : l'azote et le soufre. Ces derniers corps sont les agents proprement dits de la fermentation, c'est-à-dire de la transformation des substances non azotées. Tant que, dans la liqueur, il se trouve ensemble du sucre et le corps azoté en voie de transformation, la fermentation continue. Si l'on empêche l'intervention de l'oxigène, les deux actes de transformation (celui du sucre et celui de l'agent) s'arrêtent simultanément, de manière que quand la transformation du sucre est terminée, lorsqu'il n'y en a plus une seule particule, il reste alors dans le liquide (par exemple, dans un vin qui est pauvre en sucre) une certaine portion de l'agent qui n'éprouve plus d'autre altération : c'est ce qui donne au vin, par exemple, la faculté de passer de nouveau à l'état de fermentation lorsqu'on y ajoute une nouvelle quantité de sucre. Si la transformation

de l'agent est terminée avant celle du sucre, celui-ci reste dans la liqueur : c'est ce qui a lieu pour les vins du midi.

La présence du corps qui transmet la fermentation dans le vin communique à celui-ci la propriété de passer à l'état de vinaigre au contact de l'air; si ce corps est tenu complétement éloigné, on peut exposer le vin à l'air, soit à de hautes ou à de basses températures, sans qu'il devienne acide.

Les agents de fermentation qui se trouvent présents dans le suc de raisin et dans la sève des plantes sont, sans exception, des matières qui possèdent une constitution égale à celle du sang ou à celle de la matière caséeuse du lait. La production de ces parties constituantes du sang dans les plantes, dans la vigne, par exemple, peut être excitée et augmentée par le fumier animal. Le fumier de vache est riche en alcalis, qui ont de l'influence sur l'augmentation de la quantité de sucre; il est pauvre en azote et en phosphates, lesquels donnent lieu à la formation des parties constituantes du sang. Les excréments de l'homme ne renferment que peu d'alcalis; ils influent surtout favorablement sur la production des parties constituantes du sang, ou, si l'on veut, sur celle de l'agent qui provoque la fermentation dans les plantes.

On voit aisément que nous pouvons, par la culture même, par un choix convenable du fumier, exercer l'influence la plus décisive sur la qualité de la sève. Nous améliorons rationnellement le moût riche en parties constituantes du sang, en y ajoutant du sucre, lequel (ce qui est ici tout-à-fait indifférent) est un produit

de l'organisme dans une autre plante ; ou bien, nous ajoutons du raisin mûr et sec, venu des climats chauds, au suc pressuré de nos raisins qui n'ont pas mûri. Ce sont là, scientifiquement parlant, de véritables améliorations qui n'impliquent, sous aucun rapport, l'idée de fraude.

Il a été dit que la forme et la qualité, que les caractères des nouveaux produits qui se sont formés dans l'acte de la fermentation, dépendent de la manière dont se groupent les atomes qui se transforment, de la direction dans laquelle ils s'attirent ; de même que dans les actions chimiques ordinaires, la chaleur a ici sur le mode d'arrangement des atomes une influence tout-à-fait décisive.

Les jus de carottes, de betteraves, d'oignon, sont riches en sucre; ils fournissent, à la température ordinaire, les mêmes produits que le jus de raisin ; on en obtient de l'acide carbonique, un liquide riche en alcool et une partie constituante azotée qui se dépose sous forme de lie. A une température plus élevée, par exemple, de 40 à 45 degrés, la marche de la transformation change tout-à-fait. On observe un dégagement de gaz beaucoup plus faible ; il ne se forme pas d'alcool ; si, à la fin de la fermentation, on examine la liqueur, on n'y trouve plus une seule particule du sucre qu'il y avait antérieurement ; il s'est formé, des principes de celui-ci, une quantité abondante d'acide lactique ; à côté de ce dernier, un corps entièrement semblable à la gomme ; et en outre, comme produit le plus remarquable, une substance cristalline qui,

ses propriétés et sa composition, est identique avec la partie constituante douce de la manne.

De l'alcool et de l'acide carbonique sont les produits de la transformation des atomes du sucre à la température ordinaire; de l'acide carbonique, de la mannite, de l'acide lactique et de la gomme sont les produits de la fermentation à une température plus élevée.

Tout porte à croire que le mode de transformation de la matière qui provoque la fermentation varie à des températures plus élevées, et que le changement de direction d'après lequel ses atomes se transforment et s'arrangent détermine la nouvelle disposition que prennent les atomes de sucre qui sont placés auprès de cette matière; car ce n'est pas seulement par l'effet de la chaleur, mais c'est aussi d'après la nature de la matière qui transmet la transformation, que, d'un seul et même corps, il se forme des produits différents.

L'acide lactique, dans le lait qui devient acide, se forme du sucre du lait; la transformation de celui-ci est provoquée par son contact avec la matière caséeuse, qui passe elle-même à l'état de transformation sous l'influence de l'oxigène de l'air. Si, après la disparition du sucre qui se trouvait dans le lait, nous en ajoutons une nouvelle quantité, le même mode de transformation continue, et dure tant qu'il se trouve de la matière caséeuse en contact avec lui.

Ce mode de fermentation du sucre du lait (sans aucun dégagement de gaz) n'a lieu qu'à la température ordinaire de l'air; de vingt-quatre à trente degrés les produits sont absolument différents. A cette température plus élevée, la matière caséeuse prend les proprié-

tés de la levûre ordinaire, et il s'établit dans le sucre du lait deux modes consécutifs de transformation; ce sucre s'empare d'abord d'une certaine quantité d'eau avec laquelle il entre en combinaison chimique, et il se transforme alors en sucre de même nature que celui que nous trouvons dans le raisin. Après cette transformation, son contact avec la matière caséeuse fait qu'il se décompose en alcool et en acide carbonique.

Le lait qui a fermenté à la température ordinaire donne de l'acide lactique pour principal produit de la décomposition du sucre qu'il renferme; à une température plus élevée nous en obtenons un liquide riche en alcool, qui à la distillation donne une véritable eau-de-vie.

Quand, au lieu de levûre, on ajoute à une solution de sucre une petite quantité de lait caillé, et un peu de craie pour conserver le liquide toujours à l'état neutre, il se produit très promptement, à la température de 25 à 30 degrés, un vif dégagement de gaz; le sucre disparaît complétement; on obtient en produits gazeux de l'acide carbonique et de l'*hydrogène*, et on a alors dans la liqueur une abondante quantité d'*acide butyrique*, qui est un des acides organiques les plus intéressants, et qui n'était connu antérieurement que comme partie constituante du lait ou du beurre.

Dans la fermentation ordinaire, l'atome de sucre se divise en deux produits; dans celle dont nous venons de parler il se divise en trois; au lieu d'alcool et d'acide carbonique, nous obtenons de l'acide butyrique, de l'hydrogène et de l'acide carbonique. Les relati
existent entre ces matières l'une à l'égard

sont telles qu'on ne peut les méconnaître; l'alcool, c'est de l'acide butyrique plus de l'hydrogène; l'atome d'acide butyrique, c'est un atome d'alcool dont il s'est séparé deux atomes d'hydrogène.

Dans chaque fermentation il s'opère, dans la nature des produits, des modifications qui sont occasionnées soit par un changement de température, soit par la présence d'autres matières qui se trouvent entraînées dans l'acte de la transformation. C'est pourquoi avec le même jus de raisin, quand on le fait fermenter à des températures différentes, on obtient des vins qui diffèrent par leur qualité et par leurs propriétés, selon que la température de l'air a été haute ou basse pendant l'automne. La qualité, l'odeur et la saveur du vin changent suivant la profondeur de la cave, et suivant la température de celle-ci pendant la fermentation. Une température constante dans le lieu de la fermentation, et une fermentation qui ne soit pas tumultueuse, mais lente, telles sont les principales conditions dépendantes de l'homme pour obtenir un vin de qualité. Bientôt, pour faire fermenter le vin, on donnera la préférence surtout aux caves profondes pratiquées dans le roc, et qui sont si propices à la fabrication des bières de première qualité. L'avantage de ces caves repose principalement sur leur température constante.

L'influence que la présence de substances étrangères exerce sur les produits de la fermentation vineuse frappe particulièrement les yeux dans la fermentation du moût de pommes de terre. Comme on le sait, on en obtient, par la distillation, outre l'alcool (eau-de-vie), une liqueur huileuse qui a des propriétés vénéneuses, et

dont l'odeur et la saveur sont extrêmement nauséabondes.

Cette substance, à laquelle on donne le nom d'huile de pommes de terre, n'est pas toute formée dans la pomme de terre; elle est un produit de la transformation du sucre, car on l'obtient non seulement avec le moût fermenté de la pomme de terre, mais aussi par la fermentation des derniers sirops obtenus dans la fabrication du sucre de betteraves.

Cette huile de pommes de terre, qui, d'après ses propriétés chimiques, appartient à la même classe de corps que l'alcool, c'est de l'alcool duquel se sont séparés les éléments de l'eau. Deux atomes d'huile de pommes de terre se forment par l'union de cinq atomes d'alcool, avec la séparation de six atomes d'eau.

La formation de l'huile de pommes de terre, que l'on obtient aujourd'hui en quantités si considérables comme produit accessoire, dans les fabriques de spiritueux, et qu'on utilise pour l'éclairage des localités, n'a jamais lieu dans les liquides en fermentation lorsque ceux-ci contiennent de l'acide tartrique ou du tartre, ou de l'acide citrique, ou certaines substances amères (par exemple, de l'amer de houblon); elle ne se forme principalement que dans les liqueurs alcalines ou neutres, ou dans celles qui contiennent de l'acide acétique ou de l'acide lactique; et l'on peut prévenir, en grande partie, sa formation par une addition de tartre.

L'odeur et la saveur des vins résultent toujours des combinaisons particulières qui se produisent dans la fermentation; les vins vieux du Rhin renferment de l'éther acétique; plusieurs d'entre eux contiennent de

petites quantités d'éther butyrique, qui leur communique un fumet et une saveur agréables, semblables à ceux du vieux rhum de la Jamaïque. Tous les vins renferment de l'éther œnanthique dont la présence donne au vin son odeur. Ces combinaisons se forment en partie pendant la fermentation même, et en partie pendant la conservation du vin, sous l'influence que les acides en présence exercent sur l'alcool du vin. Il paraît que l'acide œnanthique se forme pendant la fermentation; du moins, jusqu'à présent, on ne l'a pas encore rencontré dans le raisin. Les acides libres qui existent dans le jus en fermentation prennent part de la manière la plus décisive à la formation des matières aromatiques; les vins des contrées méridionales qui sont faits avec des raisins tout-à-fait mûrs renferment du tartre; mais ils ne contiennent aucun acide organique libre; ils possèdent à peine l'odeur particulière au vin, et, quant au bouquet et à la suavité, ils ne soutiennent pas la comparaison avec les vins de qualité de France ou du Rhin.

QUATORZIÈME LETTRE.

ropriétés de la caséine animale et de la caséine végétale. — Action de la caséine végétale sur la salicine. — Saligénine. Son action sur l'amygdaline. — Formation de l'acide prussique et de l'huile d'amandes amères. — Action de la caséine végétale sur les graines de sénevé. — Production de l'huile essentielle de moutarde. — Le gluten et la peau animale agissent comme la caséine végétale ; présure. — Fabrication du fromage. — Propriétés des ferments, et surtout de la membrane de l'estomac, pour liquéfier la viande cuite, le blanc d'œuf, etc.

Les propriétés du fromage animal ordinaire, l'inuence que ses plus petites particules, quand elles se ouvent à l'état de décomposition et de transformation, xercent sur les particules de sucre qui sont situées le lus près d'elles, sont assez remarquables ; ceper

elles sont surpassées de beaucoup, sous ce rapport, par la caséine végétale qui se trouve dans le lait d'amandes. Tout le monde sait que les amandes douces, pilées à l'état de pâte fine, et délayées dans quatre ou six fois leur poids d'eau, donnent une émulsion qui offre, dans ses propriétés extérieures, la plus grande ressemblance avec le lait de vache très gras. De même que dans celui-ci, l'aspect laiteux de cette émulsion lui vient d'une graisse ou huile très divisée qui, par le repos, se rassemble à la surface sous forme de crème; comme le lait animal, cette émulsion se coagule quand on y ajoute du vinaigre; et abandonnée quelque temps à elle-même, elle devient acide. Ce lait d'amandes contient une substance qui, par ses propriétés, est tout-à-fait analogue à la caséine animale, et dont l'instabilité n'est pas moins grande. Dès que le lait sort du pis de la vache, la caséine animale éprouve un changement continu qui ne se manifeste qu'après un temps assez long par la coagulation; c'est d'une manière tout-à-fait analogue qu'une transformation s'opère dans les principes de la caséine végétale, aussitôt que les amandes douces sont mises à l'état de lait d'amandes. La caséine végétale des amandes renferme du soufre, de même que la caséine animale; mais elle contient une plus grande proportion d'azote, d'où il peut provenir que la caséine animale ne produit pas en tout point le même effet comme ferment. Du reste, elles ont toutes deux les mêmes propriétés relativement à la fermentation du sucre. Quand on ajoute à une solution de sucre de raisin (qui est identique avec le sucre d'amidon, ou avec la partie constituante solide du miel des abeilles) du lait

d'amandes, ou du marc d'amandes privées de leur huile grasse par un pressurage *à froid*, la liqueur, placée dans un endroit chaud, passe bientôt à une vive fermentation vineuse; et l'on en obtient, par la distillation, une eau-de-vie particulière, bien que d'une saveur extrêmement agréable. La caséine animale produit le même effet; toutefois, dans beaucoup de combinaisons organiques, par exemple dans la salicine et l'amygdaline, la caséine végétale du lait d'amandes opère des décompositions et des transformations que la caséine animale ne produit pas.

La salicine est la partie constituante de l'écorce de saule, qui donne à celle-ci la saveur si amère qu'on lui connaît, et la propriété de prendre la couleur rouge de carmin quand on l'arrose avec de l'acide sulfurique concentré. La salicine s'extrait facilement au moyen de l'eau; dans son état le plus pur, elle présente des aiguilles éblouissantes de blancheur, fines, longues, d'un éclat satiné. La salicine est, comme le sucre, non azotée; cependant son atome est beaucoup plus composé.

Quand on met de la salicine dans du lait d'amandes, la saveur amère disparaît très promptement, et elle est remplacée par une saveur tout-à-fait douce. Dès ce moment toute la salicine a disparu, et l'on a alors du sucre de raisin, et un nouveau corps tout différent de la salicine, savoir, la *saligénine*. Le sucre et la saligénine contiennent les éléments de la salicine. Un atome de salicine, sans que rien s'y ajoute ou s'en sépare, se décompose, par son contact avec la caséine végétale du lait d'amandes, en un atome de sucre et en un atome de saligénine.

Ce qui est encore plus remarquable, c'est la manière dont la caséine végétale se comporte avec l'amygdaline; les produits particuliers qu'on obtient avec les amandes amères ont paru longtemps une énigme à peine possible à expliqner, jusqu'à ce qu'on ait découvert l'amygdaline comme étant une de leurs parties constituantes, et qu'on ait reconnu son action sur la caséine végétale.

Lorsqu'on réduit des amandes amères en une pulpe fine, et qu'après les avoir étendues d'eau, on les soumet à la distillation, on obtient une eau d'une odeur très forte, d'un trouble laiteux dû à une multitude de gouttelettes d'huile qui sont en suspension dans le liquide, et qui se déposent peu à peu en une seule couche huileuse. C'est une huile volatile d'une odeur et d'une saveur d'amande amère des plus fortes, plus lourde que l'eau, et caractérisée encore par ce fait, qu'étant exposée à l'air, elle en attire l'oxigène et se solidifie en cristaux inodores d'acide benzoïque. Indépendamment de cette huile volatile d'amandes amères, dont il se fait aujourd'hui un grand commerce comme article de parfumerie, l'eau distillée dont nous parlons contient encore une quantité considérable d'acide prussique.

L'acide prussique et l'huile d'amandes amères, qui sont deux produits de la distillation des amandes amères avec l'eau, ne peuvent pas être démontrés existants comme tels dans ces amandes; s'ils s'y trouvaient tous deux tout formés, comme l'huile de térébenthine dans la résine, ou comme l'huile de roses dans les roses, il faudrait admettre qu'on pourrait les en extraire,

d'une manière toute semblable, au moyen des huiles grasses ou d'autres dissolvants ; cependant l'huile grasse, qu'on peut facilement obtenir en pressant les amandes amères, est aussi douce et aussi insipide que celle des amandes douces ; on ne peut y découvrir aucune trace d'acide prussique, ni aucune trace d'huile volatile d'amandes amères, bien que ces deux corps y soient facilement dissous. Lorsqu'on fait bouillir les amandes amères avec de l'alcool, on ne peut encore trouver dans la liqueur aucune trace, ni d'acide prussique, ni d'huile volatile d'amandes amères; toutefois, après l'évaporation de l'alcool, on en obtient un beau corps blanc et cristallin, qui se dissout facilement dans l'eau, qui est d'une saveur faiblement amère, et qui se distingue essentiellement du sucre et de la salicine en ce qu'il contient de l'azote en faible quantité, mais qui n'y manque jamais. Il fallait, ou que ce fût de ce corps que l'acide prussique et l'huile d'amandes amères se formassent; ou bien que ce fût de matières inconnues existant dans les amandes qui les auraient fournies, lesquelles se seraient réunies en amygdaline par l'effet de l'alcool. Telle fut la conclusion à laquelle fut conduit le chimiste qui a découvert l'amygdaline; et comme il n'a pas trouvé le mot de l'énigme, il a attribué, comme cela arrive fréquemment, la formation de l'amygdaline, ou sa transformation en acide prussique et en huile d'amandes amères, au concours d'un être imaginaire et insaisissable, de nature à se soustraire à la connaissance de l'homme.

Cependant tout s'est expliqué d'une manière extrêmement simple ; il a été démontré que quand o

dans de l'eau une solution d'amygdaline avec du lait d'amandes récent, en peu d'instants l'amygdaline se décompose; et que, par suite d'un nouvel arrangement, l'atome d'amygdaline se divise en acide prussique, en huile volatile d'amandes amères, en sucre, en acide formique, et en eau, dont tous les éléments (formant en tout quatre-vingt-dix atomes) se réunissent en un seul groupe dans l'atome d'amygdaline.

La quantité d'amygdaline qui, dans ce cas, se décompose par l'effet de la caséine végétale pour former ces combinaisons, dépend en quelque sorte de la quantité d'eau qui se trouve dans le mélange; suivant que l'eau suffit ou ne suffit pas pour dissoudre tous les produits qui se forment, toute l'amygdaline, ou seulement une partie se trouve décomposée. L'huile volatile des amandes amères a besoin de trente parties d'eau pour se dissoudre; les autres produits en exigent moins. Si maintenant on n'ajoute au lait d'amandes qu'autant d'amygdaline qu'il en faut pour que, sur trente parties d'eau, il n'y ait pas plus d'une partie d'huile d'amandes amères qui se forme, dans ce cas toute l'amygdaline disparaît; si l'on ajoute au mélange une quantité d'amygdaline plus considérable, celle-ci n'éprouve plus alors aucune altération. On comprend facilement que l'affinité chimique de l'eau (sa capacité dissolvante) joue un rôle dans cette décomposition; sa force d'attraction sur l'un des produits intervient comme une des causes de la transformation. Puisque la partie constituante blanche des amandes amères est tout-à-fait identique avec la caséine végétale des amandes douces, on conçoit facilement que l'existence de l'amygdaline dans

es amandes, est uniquement dépendante de la quantité l'humidité qu'elles contiennent. Une quantité d'amygdaline correspondante à la faible quantité d'eau qui est renfermée dans les amandes, n'y existe que d'après des produits qu'elle donne; lorsque les amandes sont pilées en une pulpe fine, et délayées dans une plus grande masse d'eau, lorsqu'elles sont, par exemple, transformées en lait d'amandes, la quantité d'amygdaline diminue selon la quantité d'eau qu'on y ajoute, jusqu'à ce qu'enfin elle disparaisse totalement lorsque cette quantité d'eau devient plus considérable.

L'action de l'amygdaline et celle de la partie constituante des amandes, qui est blanche et semblable au fromage, acquièrent un intérêt encore plus grand, quand on se rappelle que la présence de l'amygdaline dans les amandes dépend du lieu où l'arbre a été fortuitement planté. Les botanistes n'ont pas trouvé de différence sensible entre deux arbres dont l'un porte des amandes douces, et dont l'autre donne des amandes amères. On cite des cas où la simple transplantation a suffi pour qu'un arbre qui auparavant donnait des amandes amères, n'ait plus produit que des amandes douces; c'est certainement là un des exemples les plus remarquables de l'influence que certaines parties constituantes du sol exercent sur l'acte de la végétation.

L'influence que la présence de l'eau exerce sur l'existence de certaines combinaisons organiques, ressort suffisamment des faits cités; il y a encore d'autres faits qui offrent trop d'intérêt pour que nous les passions ici sous silence.

Tout le monde sait que la moutarde noire, r

en poudre, et mêlée avec de l'eau jusqu'à consistance de pâte, forme, en quelques minutes, un mélange qui produit sur la peau un effet excessivement irritant, au point même d'y provoquer des ampoules. Cet effet provient d'une huile volatile sulfurée qui ne contient pas d'oxigène, et qui, par la distillation avec de l'eau, peut être obtenue tout comme on obtient l'huile d'amandes amères avec ces amandes.

Cette huile, à laquelle la moutarde ordinaire de table doit sa saveur et son odeur, est, dans son état le plus pur, d'un montant redoutable.

Il n'y a pas une seule trace de cette huile dans la graine de sénevé. L'huile fixe que l'on en exprime est douce et sans âcreté; l'huile volatile se forme d'un corps qui n'a point de piquant; qui est riche en soufre et en azote; et qui, par l'effet de la caséine végétale renfermée dans la graine, éprouve momentanément une décomposition lorsqu'on y ajoute une quantité suffisante d'eau; l'huile volatile de la moutarde est un des produits nouveaux qui sortent de ses éléments.

De même que la caséine végétale, dans la graine de sénevé et dans l'amande de l'amandier, exerce un effet décomposant sur d'autres parties constituantes de ces mêmes semences, à cause de l'état de décomposition par lequel cette caséine passe momentanément en présence de l'eau; de même aussi se comportent les parties constituantes de presque toutes les graines des plantes qui ont une composition analogue à la caséine végétale; qui renferment du soufre et de l'azote, et notamment la substance qu'on appelle gluten, laquelle se rencontre dans les diverses espèces de céréales.

La farine de seigle, la farine de froment, et d'autres espèces de farines, mêlées avec vingt fois leur poids d'eau, à la température de soixante-quinze degrés, donnent une colle épaisse qui, déjà à cette température, devient fluide en peu d'heures, et prend une saveur très douce; l'amidon de la farine attire une certaine quantité d'eau, et, par suite d'un nouvel arrangement de ses atomes, il passe d'abord à l'état d'une espèce de gomme, et ensuite à celui de sucre de raisin. Cette transformation est provoquée par le gluten de la farine, lequel éprouve une décomposition; la liquéfaction de la pâte dans la préparation du pain provient de la même cause.

La formation du sucre dans la germination du blé est tout-à-fait la même; tout l'amidon qui se trouve renfermé dans le froment, le seigle, l'orge, est transformé en sucre pendant le développement du germe, par l'influence des particules de gluten qui s'y trouvent. Les propriétés du gluten lui-même sont tout-à-fait changées: il devient, comme l'amidon, soluble dans l'eau. Lorsque l'extrait aqueux du blé germé (du malt), que, dans la fabrication de la bière, on appelle le moût, est chauffé jusqu'au point d'ébullition, une portion de ce gluten, qui est devenue soluble, se sépare dans un état où, quant à ses propriétés et à sa composition, il ne se laisse plus distinguer de l'albumine animale coagulée. L'autre portion de ce gluten se trouve dans le moût, avec la même propriété que la partie constituante du jus de raisin, qui est composée d'une manière analogue, et qui renferme du soufre et de l'azote. Pendant la fermentation de la bière, il se dépose en une levû

par sa forme et par ses propriétés, ne diffère pas de la levûre du vin.

Dans la nature vivante, nous observons sur une grande échelle des phénomènes d'un genre analogue, qui résultent de causes tout-à-fait égales ou semblables. Beaucoup de plantes ligneuses contiennent, vers l'automne, à l'état de dépôt dans la substance du bois, une matière qui est tout-à-fait la même que la fécule de pomme de terre ou que l'amidon des céréales, et qui, au printemps, lorsque la vie des plantes se renouvelle, est convertie en sucre. La sève ascendante de l'érable est si riche en sucre, que là où il existe des forêts de cet arbre, on la met à profit pour la fabrication de ce produit. Tout porte à croire que ce sucre est formé par suite d'une décomposition analogue à celle qui donne ce même produit dans les semences en germination.

La maturation, ou l'effet qui rend mûrs et doux les fruits d'hiver dans le grenier, est le résultat d'une véritable fermentation. Les pommes et les poires qui ne sont pas mûres, renferment une quantité considérable de fécule, laquelle est réduite en sucre par la partie constituante du jus qui est azotée, et qui se décompose.

M. Redtenbacher a récemment trouvé l'acide formique comme produit de la fermentation des ramilles de pin (des feuilles et des petits rameaux). Cette découverte est d'autant plus intéressante qu'elle donnera très probablement la clef de la quantité de cet acide qui se trouve dans les fourmis, et notamment dans celles qui ne font usage, pour leur nourriture,

d'aucune matière qui puisse donner lieu à la formation de l'acide formique.

La peau animale, la membrane muqueuse de l'estomac, celle des intestins, la substance de la vessie, ont beaucoup de propriétés communes avec le gluten et la levûre. Ces substances, à l'état frais, n'ont pas la moindre action sur l'amidon ni sur la lactine; c'est seulement lorsqu'elles ont été tenues pendant un petit nombre d'heures dans l'eau, ou bien lorsqu'elles ont été exposées à l'air, qu'elles passent à un état de décomposition qui les rend capables de transformer, avec une promptitude extraordinaire, l'amidon en sucre et la lactine en acide lactique.

Cette propriété de la membrane muqueuse du ventricule des jeunes veaux est, depuis un temps immémorial, mise à profit pour faire coaguler le lait dans la fabrication du fromage, ou, ce qui revient au même, pour opérer la séparation du fromage des autres parties constituantes du lait.

La propriété qu'a le fromage d'être soluble dans le lait, est due à la présence du phosphate alcalin et de l'alcali libre, dont on peut facilement reconnaître l'existence au moyen du papier de tournesol rougi, lequel est ramené au bleu par le lait frais. L'addition d'un acide quelconque, par lequel l'alcali est neutralisé, est cause que le fromage se sépare dans son état naturel et insoluble. Cet acide, indispensable à la coagulation du lait, n'est point ajouté dans la fabrication du fromage, mais il se produit dans le lait doux aux dépens de la lactine présente. Une petite quantité d'eau q
laisse pendant quelques heures, ou pendant la nu

contact avec un petit morceau de caillette, s'empare d'une portion à peine pondérable de la membrane muqueuse passée à l'état de décomposition, et, lorsqu'on mêle cette eau avec le lait, cet état, chose très importante, ne se transmet pas au fromage, mais bien à la lactine, dont les éléments se décomposent en acide lactique, qui neutralise l'alcali et rend le fromage disposé à se séparer. Au moyen du papier de tournesol on peut suivre cette transformation dans toutes ses phases; lorsque la coagulation commence, la réaction alcaline se perd; si le fromage n'est pas immédiatement séparé du petit-lait, la formation de l'acide lactique fait des progrès, la liqueur devient acide, et le fromage lui-même passe à l'état de décomposition.

Le fromage frais, blanc et soigneusement séparé de l'eau et de la lactine au moyen de la presse, et en y ajoutant du sel, est un mélange de beurre et de caséine; il contient tout le phosphate de chaux et une partie du phosphate de soude provenant du lait; si on le conserve dans un lieu frais, il éprouve une série de transformations par lesquelles il acquiert des propriétés toutes nouvelles; il devient peu à peu transparent, plus ou moins mou dans toute sa masse; il éprouve une réaction qui le rend faiblement acide, et prend l'odeur qui est particulière au fromage. A l'état frais, il est très peu soluble dans l'eau; mais, abandonné à lui-même pendant deux ou trois ans, il se dissout complétement dans l'eau froide, surtout lorsqu'on a eu soin d'en séparer préalablement la matière grasse qui l'accompagne; solution se coagule, comme le lait, par le vinaigre par les acides minéraux. Le fromage insoluble est

ramené, par l'effet de ce qu'on nomme la *maturation*, dans un état semblable à celui où il se trouve dans le lait. Dans les fromages d'Angleterre, de Hollande, de la Suisse, et dans les meilleures qualités de France, qui n'ont presque pas d'odeur, la caséine du lait s'y est conservée sans avoir éprouvé aucun changement; leur odeur et leur saveur proviennent du beurre décomposé. L'acide margarique et l'acide oléique qui sont les acides non volatils du beurre et ses acides volatils, l'acide butyrique, l'acide caprique et l'acide caproïque, sont mis en liberté par suite de la décomposition de la glycérine.

L'acide butyrique donne au fromage son odeur de fromage proprement dite; la diversité dans le montant de la saveur et dans l'arôme dépend des proportions d'acide butyrique, d'acide caprique et d'acide caproïque qui existent à l'état libre.

Le passage de la caséine de l'état insoluble à l'état soluble repose sur la décomposition du phosphate de chaux par l'acide margarique du beurre; il se forme du margarate de chaux, tandis que l'acide phosphorique s'unit à la caséine pour former une combinaison qui est soluble dans l'eau.

L'odeur des fromages de la plus mauvaise qualité, et notamment celle des fromages maigres, provient des produits sulfurés et fétides qui se forment par la décomposition (la putréfaction) de la caséine. La transmission du changement opéré qui, par la caséine, se communique au beurre (dans l'acte de la combustion lente que dans ce cas on appelle *rancissure*), ou à la lactine qu'il y a encore dans le fromage, cette

mission, disons-nous, en faisant changer la composition du fromage, fait changer aussi, cela s'entend de soi-même, ses qualités et ses propriétés nutritives. Une séparation faite avec soin de la lactine (du petit-lait), et une basse température pendant le temps de la maturation proprement dite, sont les principales conditions à remplir (en supposant que les autres le soient) pour la fabrication des fromages de qualité (1).

La différence de saveur et d'odeur dans les diverses espèces de fromages, dépend de la méthode suivie dans leur préparation, de l'état de la présure, du sel qu'on y ajoute, et des conditions atmosphériques pendant toute la durée de la préparation. Il est certain que les plantes, et notamment les plantes aromatiques dont le bétail se nourrit, ne sont pas sans influence sur la qualité du fromage; cependant cette influence est tout-à-fait secondaire. Le lait de vache, au

(1) Le fromage de Roquefort, qu'on prépare avec le lait de brebis, ne doit son excellente qualité qu'aux lieux où on le conserve pendant sa maturation après l'avoir retiré de la presse. Ce sont des caves qui communiquent par des fissures à des grottes souterraines existant dans la montagne, et d'où s'échappent des courants d'air très frais qui maintiennent ces caves à une basse température (de cinq à six degrés). La valeur de ces caves est extrêmement inégale et varie suivant leur température. M. Giron (*Ann. de chimie et de phys.*, XLV, p. 371) en cite une dont la construction n'avait pas coûté plus de douze mille francs, et qui a été vendue deux cent quinze mille francs. Un pareil prix doit faire considérer comme décisive l'influence que la température exerce sur la qualité du fromage.

printemps, en été et en automne, est extrêmement inégal dans sa composition ; il n'en résulte aucune différence sensible pour les fromages qu'on prépare avec ce lait dans une même contrée. La même plaine ne pourrait fournir, dans des saisons différentes, une qualité de fromage qui offrît des propriétés égales ou semblables, si l'on prenait, en effet, en considération la différence des plantes, par cela seul précisément que le développement et la floraison des plantes dont le lait provient auraient eu lieu dans une saison différente. Le procédé de fabrication est, à Cheser, ainsi que l'auteur de ces lettres s'en est assuré, tout différent de celui suivi dans le Glocestershire, et, dans ce dernier pays, il est encore différent de celui qu'on suit dans la contrée où les fromages de Stilton se fabriquent.

La caillette des jeunes veaux, ou la membrane muqueuse de l'estomac des animaux en général, outre la faculté dont elle est douée de convertir la lactine en acide lactique, possède encore la propriété de rendre solubles ou de liquéfier des matières animales solides, en présence de l'acide chlorhydrique faible, et les phénomènes qu'on a observés à ce sujet ont répandu une lumière inattendue sur l'acte de la digestion dans le corps des animaux vivants. Le pouvoir de liquéfaction appartient à tous les ferments proprement dits, à une certaine phase de leur transformation ; nous avons déjà signalé cette propriété au sujet de l'extrait du malt et du gluten dans leurs rapports avec l'amidon ; toutefois, ces deux substances sont, à cet égard, de beaucoup surpassées par la membrane muqueuse de l'esto

Quand on met, pendant quelques heures, un petit morceau de caillette dans de l'eau chaude, et qu'on ajoute à celle-ci une quantité d'acide chlorhydrique, suffisante pour la rendre acide d'une manière à peine sensible, on a une liqueur qui agit sur la viande cuite, sur le gluten et sur l'albumine coagulée, de la même manière que le suc gastrique dans l'estomac vivant, lequel possède, ainsi que cette liqueur de digestion artificielle, une réaction acide provenant de l'acide chlorhydrique. Exposées à la température de trente-sept degrés (qui est la température de l'estomac), la chair musculaire, l'albumine coagulée, deviennent très promptement visqueuses et transparentes à la surface, et peu d'heures après elles sont complétement dissoutes en une liqueur faiblement troublée par des globules de graisse. Le pouvoir dissolvant que l'acide chlorhydrique possède par lui-même, se trouve accéléré par une quantité à peine pondérable de la membrane muqueuse ; au point qu'avec celle-ci la dissolution s'opère en cinq fois moins de temps qu'il n'en faudrait pour produire autrement le même effet. La physiologie moderne a démontré que, dans chaque digestion, il se détache de l'estomac toute la surpeau la plus extérieure ou l'épithélium; on ne peut mettre en doute que la substance de cette peau, étant mise en contact avec l'oxigène que la salive apporte dans l'estomac à l'état d'air enfermé sous forme d'écume, n'éprouve un changement d'où il résulte que la dissolution et la liquéfaction de ce qui se trouve dans l'estomac s'opèrent dans le temps le plus court.

On a cru pendant longtemps que le pouvoir de dissolution accélérée que la membrane muqueuse de l'estomac communique à la liqueur qui contient de l'acide chlorhydrique, dépendait de la présence d'une matière particulière, d'une espèce de substance de digestion ; on a eu la même opinion à l'égard de la matière renfermée dans l'extrait de malt, par laquelle l'amidon est transformé en sucre ; on a même donné un nom particulier à chacune de ces matières. Cependant tout ce qu'on désigne par le mot de pepsine, ou par celui de diastase, n'est autre chose que la portion de membrane muqueuse, ou celle de gluten, qui sont passées à l'état de décomposition, et dont les effets, ainsi que dans la levûre, ne sont dépendants que de leur état.

Avec un morceau de la membrane de l'estomac, nous pouvons dissoudre, en un certain état de décomposition, une certaine quantité des matières animales ; d'un autre côté, au moyen de cette membrane, nous transformons l'amidon en sucre, le sucre en acide lactique, en mannite, en mucus ou en alcool, et en acide carbonique. Il en est de même avec de l'extrait aqueux de malt d'orge récent, dans lequel l'amidon peut être converti en peu de minutes en sucre de raisin ; quelques jours après, cet extrait de malt perd déjà ce pouvoir de transformation ; il acquiert alors la propriété de convertir le sucre de raisin en acide lactique, en mannite et en gomme ; huit ou dix jours après, il perd complétement aussi cette propriété, l'extrait se trouble, et s'il est mis en contact avec du sucre, il opère alors la décomposition de l'atome de sucre en alcool et en acide carbonique.

Les phénomènes dont nous venons de parler, pris dans leur vrai sens, démontrent que les transformations et les décompositions qui s'opèrent dans l'acte de la fermentation sont produites par une matière dont les plus petites particules se trouvent elles-mêmes dans un état de transformation et de mouvement, lequel se communique aux groupes en repos qui se trouvent placés le plus près d'elles, de manière que les éléments et les atomes de ceux-ci changent aussi de position, et se disposent en un ou en plusieurs nouveaux groupes, par suite de la perturbation qui s'opère dans l'équilibre de l'attraction chimique.

Nous observons que les produits qui se sont formés dans les fermentations changent avec la température, ainsi qu'avec l'état de transformation dans lequel se trouvent les particules de l'agent de la fermentation. Il est évident que le nouvel arrangement qu'apportent, dans les atomes, la nature et les propriétés des produits nouvellement formés, se trouve dans un rapport tout-à-fait déterminé avec le mode, la direction et l'intensité du mouvement qui agit sur eux.

Toutes les matières organiques deviennent des agents de fermentation ou des ferments, dès qu'elles passent à l'état de décomposition. L'altération une fois commencée se propage dans chaque atome organique, lequel, de lui-même, par la force qui agit en lui, n'est pas capable de neutraliser le mouvement par sa résistance. La viande en putréfaction, le sang, la bile, l'urine, la membrane muqueuse de l'estomac, sont doués, à cet égard, du même pouvoir que les sub-

stances qui se rencontrent dans les diverses parties des végétaux ou dans leur sève. Toutes les matières qui déterminent la fermentation, c'est-à-dire les atomes complexes qui passent d'eux-mêmes en décomposition par le seul contact de l'eau ou de l'oxigène, possèdent des propriétés qui leur sont communes. Cependant chacune de ces substances exerce de son côté des effets particuliers, par lesquels elles diffèrent essentiellement entre elles. Ces derniers effets ont les rapports les plus intimes avec la constitution des atomes. complexes. La caséine végétale des amandes agit sur l'amidon et sur le sucre, de la même manière que le gluten ou la levûre; mais ces deux dernières substances ne sont pas capables d'opérer la décomposition de la salicine en saligénine et en sucre, ni celle de l'amygdaline en acide prussique et en huile d'amandes amères. C'est d'une manière analogue que les membranes animales, dans certains états, acquièrent toutes les propriétés de la caséine animale en fermentation; mais cette dernière substance n'a aucune influence sensible sur la puissance dissolvante de l'acide chlorhydrique, ni sur la liquéfaction de l'albumine coagulée et de la chair cuite.

Tous les phénomènes de la fermentation, pris dans leur ensemble, démontrent le principe établi déjà depuis longtemps par Laplace et Berthollet : « *Qu'un* » *atome* (*molécule*) *mis en mouvement par une force quel-* » *conque, peut communiquer son propre mouvement à un* » *autre atome qui se trouve en contact avec lui.* » C'est là une loi générale de dynamique qui conserve son caractère d'universalité partout où la résistance (*force*

force vitale, *affinité*, *force électrique*, *force de cohésion*) qui s'oppose au mouvement, ne suffit pas pour le détruire.

Comme cause nouvellement reconnue du changement des formes et des propriétés dans les combinaisons chimiques, cette loi est l'acquisition la plus importante et la plus durable dont l'étude de la fermentation ait enrichi la science.

QUINZIÈME LETTRE.

La pourriture sèche : elle est un acte de combustion.— Le blanchiment sur le gazon est une application technique de la combustion lente. — Fabrication de la bière et du vin. — Formation du vinaigre.

La première et la plus importante cause de toutes les transformations et de toutes les modifications qu'éprouvent les atomes organiques, c'est, comme il a été dit dans la lettre précédente, l'action chimique de l'oxigène. La fermentation et la putréfaction ne s'établissent que par suite d'un commencement de combustion lente; leur cessation, c'est le rétablissement d'un état d'équilibre. Par la combinaison de l'oxigène avec un

éléments du corps organique, l'état primitif de l'équilibre d'attraction de tous les éléments se trouve détruit; par suite de la compensation qui s'établit entre toutes les attractions, le corps se décompose et se subdivise en une série de nouveaux produits qui, s'ils ne sont pas influencés par de nouveaux dérangements, par de nouvelles causes d'altération, n'éprouveront plus d'autres modifications dans leurs propriétés.

Toutefois, quand même l'action chimique que les éléments des atomes organiques sont capables d'exercer les uns sur les autres dans la fermentation et dans la putréfaction, se contrebalancerait complétement, de manière que l'état de repos s'établisse entre les attractions des produits nouvellement formés, un pareil état d'équilibre n'aurait nullement lieu relativement à l'attraction des éléments de ces produits pour l'oxigène. En effet, l'action chimique de l'oxigène ne cesse que lorsque la capacité qu'ont les éléments pour se combiner avec lui s'est épuisée; or, l'action chimique de l'oxigène n'est autre chose que sa tendance à la combinaison. Il ne peut y avoir de contre-poids pour cette tendance, comme cela se conçoit, que quand, par l'effet même de l'oxigène, il s'est formé de nouveaux produits auxquels manque complétement le pouvoir d'attirer celui-ci davantage; ce n'est qu'alors que les attractions de ces produits et celle de l'oxigène se trouvent en équilibre.

La fermentation ou la putréfaction présente la première phase de la réduction des atomes organiques plus composés en combinaisons plus simples. C'est par la transformation en combinaisons aériformes des produits de la fermentation et de la putréfaction, que s'achève le

cercle de la combustion lente. Avant que les éléments primitifs des êtres organisés aient pris part aux fonctions de la vie, ils ont été des combinaisons d'oxigène. Lorsque ces fonctions ont cessé, le carbone et l'hydrogène reprennent leurs formes de combinaisons oxigénées. La pourriture sèche est un acte de combustion qui se fait à la température ordinaire, et dans lequel les produits de la fermentation et de la putréfaction des plantes et des corps des animaux, se combinent successivement avec l'oxigène de l'air.

Aucun organisme, aucune partie de l'animal ou de la plante n'est capable de résister à l'action chimique que l'air et l'humidité exercent sur eux quand l'activité vitale s'est éteinte; car toute la résistance dont les organes ont été doués passagèrement comme agents immédiats de transmission des manifestations de la vie, cesse complétement avec la mort. Leurs éléments retombent dans le domaine illimité des forces chimiques.

Lorsqu'on défriche les forêts vierges de l'Amérique, lorsqu'on facilite l'accès de l'air sur un sol aussi riche en détritus végétaux, ce sol éprouve des modifications successives dans ses propriétés; au bout d'un certain nombre d'années, il n'offre plus aucune trace de tous ces détritus. Au temps de Tacite, la surface de la Germanie était couverte d'une forêt impénétrable; son sol a dû se trouver dans les mêmes conditions que le terreau des forêts vierges de l'Amérique. Cependant tous ces produits de la vie des végétaux ont disparu pour nous. Les milliards de crustacés et d'autres animaux dont les débris constituent des montagnes entières sont passés après leur mort à l'état de fermentation et de putréfaction

corps ont formé des combinaisons aériformes sous l'influence continue de l'atmosphère, et leurs enveloppes, leurs os, leurs parties constituantes indestructibles attestent un mouvement de la vie qui s'éteint sans cesse, et qui se renouvelle toujours.

Seulement, dans les lieux et dans les couches où l'accès de l'oxigène est difficile et même tout-à-fait impossible, nous trouvons, comme dans les gisements de tourbe et de lignite, que les détritus très reconnaissables d'une végétation très ancienne sont encore dans un état arriéré de combustion lente.

Pour que l'acte de l'oxidation, dans la combustion lente, commence et s'achève, de même que dans la fermentation ou dans la putréfaction, la présence de l'eau et une température convenable sont des conditions absolument nécessaires. La dessiccation ou le froid à la température de la glace empêchent toute combustion lente ou toute fermentation. Lorsque la propagation de la décomposition spontanée est une fois commencée, elle suppose un changement de situation des particules les unes par rapport aux autres, et une mobilité de ces particules qui est rendue possible et entretenue par l'eau. Quant à la combustion lente, c'est surtout par une certaine élévation de température que les éléments acquièrent à un plus haut degré la faculté de se combiner avec l'oxigène de l'atmosphère.

Beaucoup de matières organiques, dans l'état humide, sont capables d'attirer l'oxigène ; mais il y en a d'autres, et l'on peut dire le plus grand nombre, qui sont complétement privées de cette propriété.

Lorsque nous mettons de la sciure mouillée ou du

bois humide dans un vase qui renferme de l'air, toutes les propriétés de cet air changent en peu de temps. Un copeau allumé, qui dans le commencement aurait continué à brûler, s'y éteint après un intervalle de deux ou trois heures, absolument comme si après l'avoir allumé on le plongeait dans l'eau. L'investigation étant poussée plus loin, elle démontre que tout l'oxigène de l'air a disparu, et qu'il a été remplacé par de l'acide carbonique d'un volume égal à celui de l'oxigène. Lorsque l'air qui contient l'acide carbonique est retiré du vase et remplacé par de l'air pur, le même phénomène se reproduit ; l'oxygène de cet air se transforme encore en acide carbonique. Si nous eussions fait brûler dans cet air les copeaux enflammés, son changement eût été tout-à-fait le même.

Dans le blanchiment des couleurs par l'action de l'air, ou dans le blanchiment proprement dit des toiles sur le gazon, on fait sur une grande échelle l'application technique de la combustion lente. La toile et le coton ne sont autre chose que des fibres ligneuses ordinaires, plus ou moins colorées par des substances organiques étrangères qui sont renfermées dans la plante, ou qui se sont ajoutées pendant la préparation. Lorsqu'on arrose ces substances avec de l'eau et qu'on les expose à la lumière solaire, la combustion lente s'établit à l'instant sur toute leur surface ; l'oxigène de l'air qui se trouve en contact avec l'étoffe, se transforme d'une manière incessante en acide carbonique. A chaque seconde, le poids de l'étoffe diminue, vu qu'il y a combustion ; les matières colorantes disparaissent successivement, et avec elles une portion considérable de la fibre lig

parce que ses éléments passent à l'état de combinaison avec l'oxigène. Si l'action se continue plus longtemps, le tissu perd sa consistance, il se transforme en une matière semblable à la pâte du papier, qui continue à se décomposer tant que les conditions de l'absorption de l'air et celles de la combustion lente persistent.

Les substances azotées se comportent de la même manière que le bois, et que les substances non azotées qui constituent le principal élément des plantes. La viande fraîche, la levûre ordinaire de bière, ou la lie de vin, deux substances qui sont l'un des premiers produits de la transformation que les parties constituantes azotées des plantes éprouvent dans la fermentation, privent l'air de son oxigène; ils lui restituent, de même que le bois, un volume égal d'acide carbonique. C'est ainsi que lorsqu'on transféra le cimetière des Innocents de l'intérieur de Paris en dehors des murs de la ville, la plupart des cadavres, jusqu'à une profondeur de soixante pieds, se trouvèrent, en apparence, transformés en graisse. La substance de la peau, les muscles, le tissu cellulaire, les tendons, tout en un mot, excepté les os, avait complétement disparu. Seulement la graisse, qui résiste le plus longtemps à la combustion lente, était restée à l'état d'acide margarique, et les savonniers de Paris en employèrent plusieurs centaines de quintaux pour en faire des chandelles et du savon. Si l'on suspend de la viande dans une eau courante, ou qu'on l'enterre dans un sol humide, il n'en reste plus, au bout d'un certain temps, que la graisse qu'elle contenait.

Toutes les matières qui éprouvent la combustion lente, lorsqu'on les expose humides à l'air à la tem-

pérature ordinaire, s'y comportent de la même manière que si on les avait desséchées et exposées à la chaleur rouge; elles passent à l'état de combinaison avec l'oxigène: elles brûlent.

L'alcool, un autre produit de la fermentation des sucs des plantes qui contiennent du sucre, est entièrement privé de la faculté d'entrer, comme ceux-ci, en combustion lente. A l'état pur, ou mélangé avec de l'eau et exposé à l'air, il finit par s'évaporer: mais il ne se combine pas avec l'oxigène. On sait qu'il s'enflamme facilement à une température élevée, et qu'il brûle en donnant de l'acide carbonique et de l'eau; il est évident que ses éléments ont une grande affinité pour l'oxigène; or, la température élevée n'est qu'une condition pour que cette affinité se manifeste. L'hydrogène, et beaucoup de corps inflammables, se comportent tout-à-fait comme l'alcool; ce n'est qu'à certains degrés de chaleur que se manifeste leur affinité pour l'oxigène.

On a aussi reconnu, dans la combustion lente, l'influence remarquable qu'une matière qui se trouve en voie de transformation ou d'activité, exerce sur les particules d'une autre matière qui n'est pas capable de passer par elle-même dans ce même état de transformation, de modification, ou d'activité.

Ainsi un grand nombre de matières, mises en contact avec une substance à l'état de combustion lente, montrent, à la température ordinaire, de l'affinité pour l'oxigène et se combinent avec lui, ce qui ne pourrait avoir lieu sans ce contact qu'à une température plus élevée. Cette propriété d'un corps en combustion lente d'attirer l'oxigène, se transmet à toutes les matières

se trouvent en contact avec lui; son état particulier d'activité augmente leur affinité pour l'oxigène, détermine leur combinaison avec ce dernier, comme le fait la chaleur, mais d'une manière tout à fait incompréhensible. Le contact avec une matière qui se trouve en combustion lente, est la condition principale pour que cette combustion se communique à toutes les autres substances organiques qui ne sont pas aptes à se combiner avec l'oxigène à la température ordinaire. Par suite de cette combinaison de leurs éléments avec l'oxigène, la température des matières qui sont en combustion lente s'élève au-dessus de celle qui les entoure; toutefois, quelque grande que soit l'influence que la chaleur exerce sur l'accélération de cet état de choses, elle n'est pas, comme dans d'autres réactions chimiques, la cause de la manifestation de l'affinité des corps pour l'oxigène.

Lorsque, dans une bouteille remplie d'air mêlé avec une certaine quantité d'hydrogène, on suspend une sachet de toile rempli de sciure de bois humide, de soie, de terreau, etc., ces matières persistent à entrer en combustion lente de la même manière que dans l'air libre; elles transforment en acide carbonique l'oxigène dont elles sont entourées. Ce qu'il y a maintenant de plus remarquable, c'est que l'hydrogène ajouté subit aussi la combustion lente; c'est que, par son contact avec ces substances en combustion, il acquiert la faculté de se combiner à la température ordinaire avec l'oxigène. S'il y a assez d'oxigène, tout l'hydrogène est réduit en eau.

D'autres gaz inflammables, simples et composés, se

comportent de la même manière que l'hydrogène. La vapeur d'alcool, par exemple, renfermée dans un espace qui contient du bois, ou d'autres substances à l'état de combustion lente, attire, de même que l'hydrogène, l'oxigène de l'air; elle se transforme d'abord en aldéhyde, ensuite en acide acétique, lequel, en prenant la forme liquide, se soustrait à l'influence ultérieure de l'oxigène. C'est sur cette propriété des substances à l'état de combustion lente, d'augmenter l'attraction de tous les corps organiques pour l'oxigène, et surtout celle de l'alcool, qu'est fondée la vinaigrerie accélérée proprement dite.

Tandis que, d'après l'ancien procédé, la transformation en vinaigre des liquides fermentés, durait des semaines, et même des mois, à cause de l'imperfection dans le mode d'accès de l'air; aujourd'hui l'on est parvenu à transformer l'alcool en vinaigre en moins de vingt-quatre heures: ce qui est dû principalement à ce qu'on laisse couler lentement l'eau-de-vie étendue d'eau à travers des tonneaux remplis de copeaux faits, soit à la hache, soit au rabot, et que pendant cet écoulement il y a circulation simultanée d'un faible courant d'air à travers ces mêmes copeaux. En comparant ce procédé à l'ancien, on trouve que, par cette disposition, la surface d'alcool capable d'attirer l'oxigène en est augmentée plusieurs milliers de fois. Il en résulte naturellement que le temps que dure la combustion lente de l'alcool s'en trouve diminué à proportion. Au commencement, lorsqu'on met en train ce qu'on nomme la *mère* du vinaigre, on ajoute ordinairement à l'eau-de-vie de petites quantités de matières qui contiennent des substances à l'état

de combustion lente, comme, par exemple, du moût de bière, du miel, du vinaigre en train de s'acidifier, etc. Mais la surface des copeaux eux-mêmes devient très promptement en état d'absorber l'oxigène, et c'est cette surface alors qui détermine la transformation de l'eau-de-vie en vinaigre, sans qu'il y ait coopération de la part des autres matières en combustion lente.

De cette connaissance de la combustion lente des matières, à son application à la fabrication de la bière et à celle du vin, il n'y a qu'un pas. La propriété inhérente à la bière, ou au vin, de passer à l'état de vinaigre au contact de l'air, repose toujours sur la présence des substances étrangères, dont l'aptitude à attirer l'oxigène se transmet aux particules d'alcool avec lesquelles elles sont en contact; en leur absence, le vin et la bière perdent complétement la faculté de devenir acides.

Dans le jus des raisins pauvres en sucre, il reste, après que la fermentation est terminée, c'est-à-dire après la décomposition du sucre en acide carbonique et en alcool, il reste, disons-nous, une quantité considérable de principes azotés, ayant les mêmes propriétés que celles que les raisins possédaient avant la fermentation. Dans le jus des raisins riches en sucre, comme ceux des contrées méridionales, lorsque toute la substance azotée s'est séparée complétement à l'état insoluble de lie, il y a rapport inverse, il y reste une certaine quantité de sucre non décomposé. Ces derniers vins ne [illegible]nt que très peu à l'air; il n'y a acidification [illegible] les vins rouges dont la matière colorante est

facilement altérable et prend, au contact de l'air, le rôle des parties constituantes azotées.

Les principes azotés du jus de raisin, qui, après la fermentation, restent dans le vin, sont les agents de la fermentation du sucre, que nous avons mentionnés précédemment. Lorsque ce sucre a disparu, ces principes azotés jouent, vis-à-vis l'alcool, le même rôle que le bois à l'état de combustion lente; ils sont les agents excitateurs et les intermédiaires dans l'acte d'acidification qui s'opère maintenant.

L'affinité de ces substances pour l'oxigène est très grande ; dans le court intervalle de temps pendant lequel on verse le vin d'un tonneau dans un autre, elles attirent l'oxigène de l'air, et mettent le vin en voie d'acidification; celle-ci avance continuellement, si on ne l'arrête pas par quelque moyen artificiel. On sait que cela se fait en brûlant des mèches soufrées dans le tonneau destiné à recevoir le vin; par la combustion de la mèche, l'air qui est renfermé dans le tonneau est privé de son oxigène, il se forme une quantité d'acide sulfureux d'un volume égal à cet oxigène, et qui est promptement absorbé par la surface humide du bois du tonneau. L'acide sulfureux possède pour l'oxigène une affinité plus grande encore que celle de l'agent excitateur de l'acidification, qui se trouve dans le vin. Or, cet acide en passant peu à peu de la surface intérieure du tonneau dans le vin, où il se distribue, enlève à l'excitateur de l'acidification, et au vin lui-même, tout l'oxigène de l'air qui avait été absorbé; de sorte que le vin se trouve ramené de nouveau à l'état où il était avant

le transvasement. L'acide sulfureux, dans le vin, s'y trouve transformé en acide sulfurique.

Dans les tonneaux de vin mis en chantier, il s'opère un changement d'air continuel, quoique faible, au travers des douves de ces tonneaux; ou, ce qui revient au même, le vin y est perpétuellement en contact avec une très petite quantité d'oxigène: de là vient par conséquent qu'après un certain temps, toute la quantité présente de l'agent de l'acidification se sépare sous forme de lie proprement dite. (*Unterhefe.*)

La séparation de la levûre du vin et de la bière, pendant la fermentation du jus de raisin ou du moût de bière, s'effectue par suite de l'accès de l'oxigène, ou, ce qui est la même chose, par l'effet d'une oxidation qui s'opère dans l'intérieur du liquide en fermentation. La partie constituante azotée de l'orge n'est pas, par elle-même, soluble dans l'eau; mais elle le devient par l'opération du maltage; pendant que le grain germe, elle acquiert alors la même propriété que celle que possède, au commencement, le principe azoté qui est renfermé dans le jus de raisin.

Par leur union avec l'oxigène, ces deux principes azotés perdent leur solubilité, l'un dans le vin, l'autre dans la bière. D'après les meilleures analyses faites à ce sujet, la levûre du vin et celle de la bière sont beaucoup plus riches en oxigène que les substances azotées d'où elles résultent.

Tant que, outre ces matières, il reste encore dans la liqueur des particules de sucre en fermentation, c'est la liqueur elle-même qui, par la décomposition de l'eau ou d'une petite quantité de sucre, fournit l'oxi-

gène nécessaire pour la transformation en levûre. Cette oxigénation dans l'intérieur de la liqueur, qui cause sa séparation d'avec la levûre, trouve sa limite dans la disparition du sucre; cependant elle se rétablit de nouveau quand, par une addition de sucre, elle est rendue de nouveau capable de fermentation; elle se rétablit encore quand la surface de la liqueur reste en contact avec l'air. Dans ce dernier cas, la séparation se fait aux dépens de l'oxigène de l'air, c'est donc encore par suite d'une combustion lente.

Maintenant, nous avons dit que la présence de ces matières azotées et de l'alcool détermine, quand il y a accès d'air suffisant, la transformation de l'alcool en acide acétique; seulement l'inégalité de leur affinité pour l'oxigène est cause que, dans le vin mis en chantier, pour lequel l'accès de l'air est excessivement borné, il s'oxide seulement la partie constituante azotée, et il ne s'opère pas simultanément une oxidation de l'alcool; en pareilles circonstances, le vin, dans des vases ouverts, aurait passé à l'état de vinaigre.

Il est évident, d'après ce qui précède, que si nous avions un moyen pour empêcher l'acidification de l'alcool, c'est-à-dire sa transformation en vinaigre par l'effet d'une affluence illimitée d'air ou d'oxigène, nous pourrions, par cela même, donner dans le temps le plus court, au vin ou à la bière, une fermeté dont la durée n'aurait pas de bornes, ou en d'autres termes une complète maturité; car, en pareille circonstance, toutes les matières du vin et de la bière qui opèrent l'acidification se combineraient avec l'oxigène, et se sépa-

reraient à l'état insoluble. En leur absence, l'alcool perdrait complétement la faculté d'attirer l'oxigène.

L'art pratique a trouvé ce moyen dans une basse température, et il s'est établi depuis, notamment en Bavière, un procédé de fermentation auquel la théorie la plus complète aurait à peine pu conduire d'une manière plus simple et plus sûre, et qui fût dans un plus parfait accord avec les principes de la science.

La transformation de l'alcool en acide acétique, par son contact avec une substance en combustion lente, s'opère de la manière la plus prompte à la température de trente-cinq degrés ; au-dessous de cette température, l'affinité de l'alcool pour l'oxigène diminue; à la température de huit à dix degrés (du thermomètre centigrade), la combinaison n'a plus lieu dans les mêmes circonstances; cependant, à cette basse température, la tendance ou le pouvoir des substances azotées pour attirer l'oxigène en est à peine sensiblement affaibli.

D'après cela, il est évident que, quand le moût de la bière est abandonné à la fermentation, comme cela se fait en Bavière, dans des vaisseaux larges et ouverts, qui permettent un accès illimité à l'oxigène, et dans un lieu où la température ne va pas au-delà de huit ou dix degrés, la séparation du ferment doit se faire simultanément à l'intérieur et à la surface du liquide. La clarification de la bière est le signe auquel on reconnaît qu'il n'y a plus de séparation de matières, et que ces matières, et, avec elles, les causes de l'acidification se sont éloignées. Une séparation tout-à-fait parfaite de ces matières, telle que les principes scientifiques l'indiquent, ne dépend plus que de l'expérience et de l'ha-

bileté du brasseur. On n'atteint à cette perfection, comme on le conçoit facilement, que dans quelques cas isolés. Toutefois, d'après ce procédé de fermentation, on obtient toujours une bière qui surpasse de beaucoup, par sa fermeté et sa qualité, la bière ordinaire.

L'avantage immense qui doit résulter de l'application de ces principes à une préparation rationnelle du vin est évident, et ne peut en aucune manière être contesté. Une connaissance incomplète ou l'ignorance de ces principes est évidemment cause que cette méthode de fermentation n'a pas depuis longtemps encore procuré à la fabrication du vin les grands avantages qu'on peut en espérer; car le vin ainsi préparé se comportera, à l'égard du vin ordinaire, comme une bonne bière de Bavière se comporte à l'égard de la bière commune, pour la préparation de laquelle on a employé la même quantité de malt et de houblon. Par ce moyen, le vin doit acquérir, dans le temps le plus court, la même maturité et la même qualité que celles qu'il n'acquiert qu'au bout de plusieurs années de chantier. Si l'on se rappelle que l'époque de la fabrication du vin tombe vers la fin d'octobre, par conséquent précisément dans la saison fraîche, qui est si favorable à la fermentation de la bière; qu'il n'y a pas d'autres conditions à remplir que d'avoir une cave très fraîche, et des vaisseaux de fermentation larges et ouverts; si l'on se rappelle enfin que le danger de l'acidification pour le vin, est, sous tous les rapports, beaucoup moindre que pour la bière, on doit pouvoir compter avec sûreté sur le meilleur succès (1).

(1) Un des agronomes les plus intelligents, hab[illegible] ant

Tout-à-fait à l'opposé de ces principes, dans beaucoup de localités des bords du Rhin, on fait fermenter le vin non dans des caves fraîches, mais dans des endroits ouverts, situés trop hauts, et, à cause de cela, trop chauds; on arrête, de plus, complétement l'accès de l'air, pendant la fermentation, par des tuyaux de tôle qu'on élève et qu'on tient bouchés au moyen de l'eau. Sous ce rapport, ces tubes agissent, dans tous les cas, d'une manière nuisible sur la qualité du vin; sous tous les autres rapports, ils peuvent être regardés comme l'invention complétement inutile et sans but d'une tête oisive, et comme une pratique qu'on imite sans se rendre autrement compte de ce qu'on fait.

de vin dans le grand duché de Bade, le baron de Babo, m'écrivait en avril 1843 ce qui suit : « Je puis vous annoncer que le traitement de mon vin rouge de l'automne dernier, d'après le procédé de fermentation suivi en Bavière, a eu encore un plein succès. Nos praticiens qui font du vin ne peuvent comprendre la chose, quoiqu'il soit si évident qu'un procédé qui a eu un succès reconnu si complet pour la bière, doive être tout aussi convenable pour le vin. » Une expérience que M. de Babo avait faite dans l'automne de 1841 sur du vin rouge, avait tout aussi bien réussi, notamment dans la couleur. Il aurait pu se faire que la fermentation du vin rouge fût un écueil contre lequel le nouveau procédé fît naufrage; cependant, d'après les essais qui ont si complétement réussi, je crois le procédé susceptible de l'application la plus universelle.

SEIZIÈME LETTRE.

Influence de la chaleur d'ébullition sur la propriété que possèdent certaines substances organiques de passer à l'état de fermentation et de combustion lente. — Méthode de M. Gay-Lussac pour la conservation des substances organiques. — Hypothèses sur la fermentation et la putréfaction. — Champignon de la levûre, cause de la fermentation. — Animalcules microscopiques, causes de la putréfaction. — Dégagement d'oxigène obtenu de l'eau qui contient des substances organiques. — Expériences de Rumford, de Pfankuch, de Wœhler, de Ch. et de A. Morren.

La propriété que possèdent les substances organiques de passer à l'état de fermentation et de combustion lente au contact de l'air, et, par suite de cet état, d'exciter une fermentation ou une combustion lente dans d'autres substances, est détruite dans tous les corps

sans exception par la chaleur d'ébullition. C'est là certainement la preuve la plus évidente que la facile instabilité de ces matières se trouve liée à un certain mode d'arrangement de leurs atomes. On n'a qu'à se rappeler la coagulation de l'albumine par la chaleur pour concevoir son action dans ce phénomène. La plupart des ferments proprement dits ont une composition semblable à celle de l'albumine, et à des températures plus élevées ils passent dans un nouvel état.

Quand on abandonne à elles-mêmes, dans de l'eau bouillante, pendant quelques instants seulement, des amandes douces pelées, leur action sur l'amygdaline se trouve complétement anéantie. Celle-ci s'y dissout alors sans aucune altération. D'un autre côté, le malt *bouilli* a perdu totalement sa propriété de réduire l'amidon en sucre.

Le lait frais des animaux, après deux ou trois jours, se coagule en une masse gélatineuse généralement connue. Si l'on chauffe chaque jour le lait jusqu'à l'ébullition, on peut le conserver pendant un temps illimité. Cette chaleur détruit complétement l'état de décomposition auquel la caséine dissoute passe au contact de l'air; pour reproduire cet état, il faut alors une influence plus prolongée de l'oxigène. C'est d'une manière toute semblable que se comporte le jus de raisin si facilement altérable, ainsi que tout autre liquide capable de fermentation; en chauffant jusqu'à l'ébullition, toute fermentation cesse. Pour faire que la fermentation ait lieu dans le temps le plus court, il faut ajouter au moût bouilli de la bière, de la levûre, c'est-à-dire une substance qui a déjà passé à l'état de décomposition.

Il est facile de concevoir que si, dans une substance susceptible de fermentation, de putréfaction et de combustion lente, on détruit, au moyen d'une température plus élevée, l'état particulier dans lequel les substances se trouvent transmuées par le contact de l'air, lors même que celui-ci n'a duré qu'un instant, il est facile de concevoir, disons-nous, que si l'on exclut alors l'intervention de l'oxigène, comme devant être la première et seule cause du rétablissement de cet état particulier, ces substances conserveront pendant un temps illimité leur état et toutes les propriétés qu'elles possédaient au commencement de l'ébullition. La matière n'a point par elle-même la faculté de se mettre en mouvement ; sans une cause extérieure qui agisse sur les atomes, aucun d'eux ne change ni de place, ni de propriétés.

Quand on verse du jus de raisin dans une bouteille, qu'on bouche celle-ci hermétiquement, et qu'on la plonge dans de l'eau chaude pendant quelques heures ou pendant le temps nécessaire pour qu'elle ait pris la température de l'ébullition, alors la petite quantité d'oxigène qui était renfermée avec l'air dans la bouteille, est absorbée par les parties constituantes du jus, et par là toute cause d'altération se trouve éloignée. Dès ce moment le jus ne fermente plus, il reste doux, et cet état se maintient jusqu'à ce que la bouteille soit rouverte et mise de nouveau en communication avec l'air. Dès cet instant il s'établit dans la liqueur la même modification que celle qu'éprouve le jus récent, et peu d'heures après il y a pleine fermentation ; mais celle-ci

peut, comme au commencement, être interrompue et arrêtée de nouveau par l'ébullition.

On a fait les plus belles applications de ces expériences, qui sont d'une égale valeur pour toutes les substances organiques sans exception. Tandis qu'autrefois, dans les voyages de long cours sur mer, on en était réduit à se nourrir de viandes salées ou fumées qui finissaient par altérer la santé des équipages et celle des passagers; tandis que plusieurs milliers d'individus ont perdu la vie faute uniquement de pouvoir se procurer les aliments frais nécessaires aux malades, aujourd'hui ces inconvénients et ces dangers deviennent de jour en jour plus rares. C'est là certainement un des plus grands bienfaits dont la science et M. Gay-Lussac aient gratifié la vie des hommes.

A Leith, près d'Édimbourg, à Aberdeen, à Bordeaux et à Marseille, comme en Allemagne, on a établi des cuisines sur la plus grande échelle, dans lesquelles potages, légumes, viandes de toute espèce, sont préparés avec grand soin et expédiés pour les contrées les plus lointaines. Les aliments sont renfermés, tout apprêtés, dans des boîtes de fer-blanc, dont les couvercles sont ensuite soudés; puis on expose les boîtes à la température de l'eau bouillante sur un fourneau convenablement disposé à cet effet. Lorsqu'un degré de chaleur suffisant a pénétré dans chaque boîte jusqu'au milieu de la masse, ce qui, à partir du moment où les boîtes sont plongées dans l'eau bouillante, exige toujours trois ou quatre heures, ces aliments ont alors acquis un caractère de durée qu'on peut dire éternelle. Lorsque, après quelques années, on ouvre ces boîtes, on en trouve

le contenu dans le même état que si on venait de l'y mettre. La couleur de la viande, celle des légumes, leur odeur, leur saveur, sont restées absolument les mêmes. Cette précieuse méthode de conservation s'est introduite dans beaucoup de ménages de cette contrée, de Francfort et de Darmstadt, et les maîtresses de maison peuvent, en hiver, orner leurs tables des légumes les plus rares du printemps et de l'été, de plats de viandes et d'autres mets qu'on ne peut se procurer autrement que dans certaines saisons. Ce procédé sera surtout d'une grande importance pour procurer des munitions de bouche aux villes fortes, toutes les fois que la perte que l'on éprouve par la vente des anciennes provisions et par leur renouvellement, et particulièrement par celui de la viande (telle que jambons, etc.), toutes les fois, disons-nous, que cette perte sera plus grande que la valeur des boîtes, qui peuvent, au reste, être employées à plusieurs reprises après avoir été soigneusement nettoyées.

Je ne puis terminer ces longues réflexions sur les phénomènes remarquables qui s'établissent après la mort des plantes et des animaux, sans faire mention d'une opinion que quelques naturalistes et particulièrement quelques médecins, se sont formée sur les causes qui produisent ces phénomènes.

C'est-à-dire qu'ils regardent la fermentation ou la décomposition des atomes d'un ordre plus élevé dans l'organisation végétale, en atomes plus simples, comme l'effet de la manifestation de la vie de certains *êtres végétaux ;* et la putréfaction, c'est-à-dire le même acte dans les substances animales, comme déterminée par le développement ou par la présence de certains *être*

maux. La décomposition de l'atome de sucre en alcool et en acide carbonique se fait, d'après eux, par suite de la végétation d'une espèce de plante d'un ordre inférieur, celle d'un véritable champignon qui constitue la levûre. Ils attribuent la putréfaction des matières animales à l'existence et au développement d'animalcules microscopiques qu'on y a observés dans la plupart des cas.

Il eût été possible que ces actes de transformation fussent opérés par la levûre ou par les animalcules, en tant que le sucre aurait servi de nourriture aux champignons de la levûre, ou que les substances animales en putréfaction auraient servi d'aliment aux animalcules. Dans ces cas, les produits nouvellement formés de la fermentation et de la putréfaction auraient été des produits des fonctions vitales de ces plantes ou de ces animaux, comparables aux excréments liquides, ou solides, ou aériformes des plantes, ou des animaux des classes supérieures. Il eût été encore possible que la force d'adhésion des atomes organiques d'un ordre plus élevé, fût détruite au contact de ces excitateurs vivants de fermentation, qu'ainsi l'affinité chimique des atomes plus composés eût été troublée par suite d'un effet de force vitale se déployant vers l'extérieur, et que, par ce moyen, une nouvelle direction eût été donnée à l'attraction de leurs atomes. Ces deux manières d'expliquer ces phénomènes sont des hypothèses dont il aurait fallu faire la preuve avant d'établir ou d'accepter cette théorie de la fermentation. Il est impossible que la simple constatation de la présence de champignons ou d'animalcules, dans les matières qui sont en fermentation ou en putréfaction, ait quelque valeur comme explication

d'un phénomène, attendu que la raison et la cause de ce phénomène doivent être cherchées d'abord dans la discussion claire et nette de la manière dont ces champignons et ces animalcules le produisent. Or, cela n'a été fait d'aucune manière jusqu'ici, et, avec l'adoption de cette opinion, la fermentation et la putréfaction restent tout aussi obscures et même plus obscures qu'elles ont jamais pu l'être.

Déjà, à cause seulement de la méthode qui a conduit à cette opinion, l'explication doit être rejetée. Il n'y a qu'à se rappeler qu'on a attribué à l'organisme animal la puissance de produire la chaux dans les os et dans les coquilles des œufs des oiseaux, l'acide phosphorique dans le cerveau, le fer dans l'hématéine, et tout cela avec des matières auxquelles on n'a pas même su donner un nom; mais aujourd'hui que l'on a trouvé que ces matières sont des parties constituantes qui ne manquent jamais dans les aliments, leur présence dans l'organisme a cessé d'être une énigme. Attribuer à la seule vertu prolifique de la nature la présence des alcalis dans les cendres des plantes, celle des poissons dans des endroits ou il n'y en avait pas auparavant, ou bien celle des plantes qui se développent dans un terrain où l'on ne supposait pas qu'il y en eût les semences, ce sont là autant d'opinions qui appartiennent à l'enfance de l'étude de la nature, et qui, au temps où nous sommes, ne sont plus dignes d'un naturaliste. La tâche de celui-ci est de faire jaillir la lumière et de donner des notions nettes des choses, et non de produire l'obscurité. Si les champignons étaient, en général, doués de la capacité d'opérer une

tation, d'effectuer une décomposition, celle, par exemple, du sucre en alcool et en acide carbonique, on concevrait alors la possibilité d'une telle opinion; mais cette propriété n'appartient à aucun champignon vivant. La levûre contient du carbone et de l'azote dans les mêmes proportions que les parties constituantes du sang; or, aucun véritable champignon ne possède cette composition. Il n'y a pas de levûre dans le jus de raisin, ni dans le moût de la bière, car elle ne se produit que dans la fermentation. Si maintenant la fermentation est le résultat d'un développement de végétation et de la croissance de champignons, d'où vient alors que le sucre pur entre en fermentation par le contact de la levûre toute formée qui se compose de champignons germés et développés? D'où vient que, dans ce cas, la fermentation a lieu, non pas parce que les champignons croissent et se propagent, mais bien par suite de leur disparition? La fermentation du vin et celle de la bière ne sont pas des phénomènes isolés qui existent d'eux-mêmes, mais l'un et l'autre ne sont que des cas particuliers d'un nombre infini d'autres phénomènes qui appartiennent à la même catégorie. C'est pour cette raison qu'on ne peut permettre de s'appuyer sur des observations incomplètes et sur des hypothèses arbitraires qui elles-mêmes ne se fondent que sur ces deux cas particuliers, pour tirer une conclusion relativement à la cause dernière du phénomène dans tous les autres cas. La caséine animale opère, comme la levûre, la décomposition du sucre en alcool et en acide carbonique; le lait d'amandes possède une propriété toute semblable, et, dans aucun de ces deux derniers cas, on n'observe que

ces ferments montrent, dans une période quelconque de la fermentation, cette forme de la levûre du vin et de la bière, qui ressemble aux sporules de beaucoup de champignons. On perd complétement de vue que les produits nouvellement formés par les éléments des matières en putréfaction ou en fermentation, changent avec la température, et avec d'autres conditions; que la décomposition du sucre en alcool et en acide carbonique, ou en acide lactique, en mannite, en acide butyrique, ou en huile de pommes de terre, doit dépendre d'une seule et même cause; et que les agents excitateurs de ces différentes sortes de décompositions n'ont pas, dans tous ces cas, dans leur propriété extérieure, de la ressemblance avec certains végétaux d'un ordre inférieur. Si la fermentation était l'effet d'une manifestation de la vie, il faudrait nécessairement que les ferments possédassent, dans tous les genres de fermentation, une forme organisée.

Quant à l'opinion qui regarde la putréfaction des substances animales comme causée par des animalcules microscopiques, on peut la comparer à l'idée d'un enfant qui s'expliquerait la chute et le courant rapide du Rhin, par le grand nombre de moulins à eau qui sont à Mayence, et dont les roues poussent avec force les eaux du fleuve vers Bingen.

Est-il imaginable qu'on puisse regarder des végétaux et des animaux comme des causes, tandis qu'ils ne sont que des effets; comme capables de détruire et d'anéantir les corps des animaux et des végétaux, lorsque eux-mêmes et leurs propres parties constituantes sont soumis aux mêmes causes de destruction?

Si un champignon est la cause de la destruction d'un chêne; si un animalcule microscopique est celle de la putréfaction d'un éléphant mort, quelle sera donc la cause de la putréfaction du champignon? quelle sera celle de la putréfaction et de la combustion lente de l'animalcule microscopique, lorsque l'un et l'autre auront cessé de vivre? Car ils fermentent aussi; ils entrent aussi en putréfaction et en combustion lente, et ils disparaissent successivement, de la même manière que l'arbre et l'éléphant, et finissent par donner les mêmes produits!

On ne peut admettre une pareille opinion si l'on considère que la présence d'animalcules microscopiques dans les matières en putréfaction est un fait purement accidentel; qu'on peut dans la plupart des cas l'empêcher de se produire en supprimant la lumière; que ces substances peuvent être mises à l'état de putréfaction et de combustion lente sans qu'il y ait aucune coopération de leur part; que, dans mille cas, ni dans l'urine, ni dans le fromage, ni dans la bile, ni dans le sang, qui sont entrés en putréfaction, on n'observe aucun animalcule de cette espèce, et que, dans d'autres cas, ils n'y apparaissent qu'à une certaine période, et lorsque la fermentation ou la putréfaction ont déjà commencé depuis longtemps.

Vouloir faire dériver la putréfaction de la présence d'animaux microscopiques, ce serait comme si on voulait attribuer l'état de décomposition des excréments, ou du fromage, aux scarabées auxquels ces excréments ont été assignés pour aliments, ou bien aux vers qu'on rencontre dans le fromage.

La présence des animalcules microscopiques, qu'on

aperçoit souvent en aussi immense quantité dans les matières qui sont en voie de combustion lente, ne doit pas être regardée comme une chose bien surprenante en elle-même, puisque ces animalcules trouvent évidemment dans ces matières les conditions de leur nourriture et de leur développement. Leur apparition n'y est pas plus étonnante que ne l'est le passage des saumons de la mer dans les fleuves ; ou que la formation du kali dans le voisinage d'une saline. La seule différence, c'est que, dans ces derniers cas, nous pouvons suivre la voie par laquelle les saumons et le kali sont venus ; tandis que les germes des champignons et les œufs des infusoires échappent à nos observations, à cause de leur petitesse extraordinaire, et à cause de l'immense océan d'air dans lequel ils sont répandus. Ils doivent apparaître partout où il n'y a pas d'obstacle qui s'oppose au développement de leur germe ou à celui de leurs œufs.

Il est certain que, par leur présence, la combustion lente se trouve accélérée d'une manière extraordinaire ; leur alimentation donne lieu de croire qu'ils emploient les parties du corps animal à leur propre développement ; une destruction du corps plus active et plus prompte doit en être le résultat immédiat. Nous savons qu'avec un seul individu il s'en produit, en très peu de temps, plusieurs milliers d'autres ; et que leur croissance et leur développement sont renfermés dans de certaines limites. Lorsqu'ils ont atteint un certain degré de développement, ils ne croissent plus en dimension, mais ils ne cessent pas pour cela de prendre de la nourriture. Que résulte-t-il alors (c'est là ce qu'il faut se demander) de cette nourriture qui ne sert plus à la croissance de leurs corps ? Ne faut-

il pas qu'elle éprouve, dans leur organisme, une altération analogue à celle qu'éprouvent le morceau de viande ou les os que nous donnons à un chien qui a cessé de croître, et dont le corps n'en éprouve plus aucune augmentation de poids? Nous savons exactement que la nourriture du chien lui a servi à entretenir en lui les fonctions de la vie, et que, dans son corps, les éléments de cette nourriture prennent la forme de l'acide carbonique et celle de l'urée; nous savons aussi que cette dernière substance, lorsqu'elle est rejetée au-dehors, se décompose rapidement en acide carbonique et en ammoniaque. Cette nourriture éprouve donc, dans l'organisme, la même altération que si nous l'avions desséchée et brûlée dans un fourneau; elle brûle donc dans le corps du chien.

C'est le même acte qui se reproduit dans les substances animales qui sont à l'état de combustion lente; ces substances servent de nourriture aux animalcules microscopiques dans les corps desquels leurs éléments entrent aussi en combustion lente. Ces animalcules meurent quand leurs aliments sont épuisés; ce sont alors leurs propres corps qui entrent en combustion lente et en putréfaction, et il peut même se faire qu'ils servent, à leur tour, au développement de nouvelles générations d'êtres microscopiques d'un autre ordre. Toutefois, le fait en lui-même est et demeure un acte de combustion dans lequel les éléments du premier corps, avant de se combiner avec l'oxigène, sont devenus les parties constituantes d'êtres vivants, et dans lequel les éléments ont passé par une série de combinaisons intermédiaires avant de se décomposer en derniers produits de la com-

bustion lente. Cependant les parties constituantes animales qui, dans le corps, se combinent avec l'oxigène, n'appartiennent plus au corps vivant. Pendant la putréfaction proprement dite, la décomposition qui se fait des substances animales privées du contact de l'oxigène, donne lieu à un dégagement de gaz (hydrogène sulfuré) qui exerce une action vénéneuse, et qui met promptement aussi un terme à la vie des animalcules microscopiques. On ne trouve jamais d'animaux microscopiques dans les excréments de l'homme à l'époque de leur putréfaction, tandis qu'ils s'offrent en grande abondance lorsque les excréments passent à l'état de combustion lente.

Une sage disposition de la nature a assigné pour aliments au monde des animaux microscopiques, les corps morts des êtres organisés des classes plus élevées; elle a fait de ces animaux un moyen de limiter, dans le plus court intervalle possible, l'influence délétère que les produits de la putréfaction et de la combustion lente exercent sur la vie des animaux des ordres supérieurs. Les découvertes les plus récentes qui ont été faites, sous ce rapport, sont si merveilleuses, elles sont si extraordinaires, qu'elles méritent certainement de se propager dans un plus vaste cercle. Déjà Rumford avait observé que le coton, la soie, la laine et d'autres corps organiques, exposés au soleil dans un vase plein d'eau, donnaient lieu, après trois ou quatre jours, à un dégagement d'oxigène pur. A l'apparition de la première bulle de gaz, l'eau prend une teinte verdâtre, et elle offre, sous le microscope, une multitude prodigieuse de petits animaux de forme ronde, qui donnent à l'eau sa couleur.

Les conferves, ou les autres plantes, dont il a pu se dégager de l'oxigène, n'ont donné lieu à aucune remarque de ce genre.

Cette observation, faite il y a soixante et dix ans, a été tirée de l'oubli à la suite de découvertes toutes récentes. Dans la saunerie de la saline de Rodenberg, dans la Hesse courlandaise, il se forme une masse visqueuse, transparente, qui recouvre le sol sur une épaisseur de un à deux pouces, et qui est parsemée partout de grosses bulles d'air, lesquelles s'élèvent en abondance aussitôt qu'on déchire avec un bâton la pellicule qui les renferme. D'après les recherches de M. Pfankuch, ce gaz n'est autre chose que de l'oxigène tellement pur, qu'une allumette en ignition s'y allume aussitôt, ce qui a été constaté par M. Wœhler. Il est résulté des recherches microscopiques auxquelles M. Wœhler s'est livré sur la nature de cette masse, que celle-ci se composait presque entièrement d'infusoires vivants, des genres navicula et gaillonella, qui se rencontrent dans le tuf siliceux de Franzensbad, et dans les formations papyracées de Freiberg. Après le lavage et la dessiccation, cette matière donne de l'ammoniaque à la calcination, et pour résidu, une cendre blanche toute composée des squelettes quartzeux de ces infusoires, squelettes conservant si distinctement la forme de l'animal, qu'on croirait avoir sous les yeux de la mucosité pituitaire récente, mais sans fluidité. Presque à la même époque, MM. Ch. et A. Morren (Mémoires de l'académie de Bruxelles, 1841) constataient qu'avec le concours de certaines conditions organiques, il se dégage de l'eau un gaz qui renferme jusqu'à soixante

et un pour cent d'oxigène, et que ce phénomène serait dû aux Chlamidomonas pulvisculus (Ehrenberg), et à quelques autres animalcules verts ou rouges, d'un ordre encore plus inférieur. L'auteur de ces Lettres a lui-même profité d'une occasion que lui a offerte l'eau d'un réservoir de son jardin, colorée d'une teinte verdâtre par des infusoires, pour se convaincre de la vérité de ce fait remarquable. Il a passé de cette eau à travers un tamis très fin, pour en retirer toutes les conferves ou les autres matières végétales; il en a rempli un verre qu'il a renversé sens dessus dessous, pour que l'ouverture en fût tenue fermée par l'eau elle-même, et il l'a exposé à la lumière solaire. Quinze jours après, il a recueilli, dans ce verre, plus de trente pouces cubes d'oxigène pur, dans lequel une allumette en ignition s'enflammait immédiatement.

Sans vouloir hasarder une conclusion quelconque sur la manière dont ces infusoires se nourrissent, il reste certain, d'après ces observations, qu'une eau dans laquelle se trouvent des infusoires vivants devient, sous l'influence de la lumière solaire, une source d'air vital le plus pur; que dès que l'on aperçoit de ces animaux dans l'eau, cette eau cesse d'agir d'une manière nuisible sur les animaux et les plantes des classes supérieures; car il est impossible d'admettre que de l'oxigène pur puisse se dégager d'une eau qui contient encore des matières en putréfaction, ou en combustion lente, et par conséquent des matières qui soient capables de se combiner avec l'oxigène.

Imaginons que l'on ajoute à cette eau une substance animale en voie de putréfaction, ou de combustion

lente : dans une pareille source d'oxigène, cette substance devra être réduite en ses derniers produits, dans un intervalle infiniment plus court que s'il n'y avait pas eu d'infusoires.

Nous reconnaissons donc dans les espèces les plus répandues de ces êtres microscopiques, ceux qui sont colorés en vert ou en rouge, comme la cause véritablement merveilleuse qui fait disparaître de l'eau toutes les substances capables de compromettre la vie des êtres des ordres supérieurs, et qui substitue à ces substances délétères, d'autres matières pouvant servir d'aliment aux plantes, et l'oxigène indispensable à la respiration des animaux.

Ces animalcules ne peuvent pas être la cause de la putréfaction, de la formation de produits vénéneux agissant d'une manière nuisible sur la vie des plantes et sur celle des animaux; mais, dans un but infiniment sage, ils sont destinés à accélérer la transformation des éléments des matières organiques putrescibles, en leurs derniers produits.

Parmi les champignons et les agarics, il en est un grand nombre qui se développent en l'absence de toute lumière, et dont la croissance et la vie sont accompagnées de tous les phénomènes qui caractérisent la vie animale. Ces sortes de végétaux altèrent l'air, et le rendent irrespirable en absorbant l'oxigène et en exhalant de l'acide carbonique. Sous le rapport chimique, ils se comportent comme des animaux qui seraient privés de locomotion.

En opposition à cette classe d'êtres qui méritent à peine le nom de plantes, il existe des créatures vivantes

douées de mouvement, et munies des organes qui constituent les animaux, qui se comportent à la lumière comme les plantes vertes, qui, en croissant et grandissant, deviennent des sources d'oxigène, lequel, par leur moyen, parvient partout où son accès ne peut avoir lieu sous forme d'air.

Il est évident que les infusoires ne peuvent se montrer, se développer et se propager que là où s'offre en abondance, sous une forme convenable, la nourriture qui leur est nécessaire. Plusieurs espèces, et même de celles qui sont très répandues, se distinguent des autres par deux parties constituantes qui appartiennent au règne inorganique, par le silice dont sont formés les carapaces de plusieurs espèces de navicula, d'exilaires, de bacillaires, etc., et par l'oxide de fer qui fait partie constituante de plusieurs espèces de gaillonelles. Le carbonate de chaux des animalcules crayeux est tout-à-fait identique avec l'enveloppe des crustacés.

On s'est plu à regarder les gisements immenses de silice, de chaux, d'oxide de fer, qu'on trouve dans le tuf siliceux, dans le schiste à polir, dans le tripoli, dans la craie, dans la mine de gazon, dans les minéraux terreux, comme les produits de la vie des infusoires d'un monde antérieur, et on leur a attribué la formation des montagnes appartenant à ces gisements. On n'a pas pris en considération, toutefois, que la craie, la silice et l'oxide de fer devaient exister comme conditions nécessaires de la vie de ces infusoires avant qu'ils prissent leur développement; que ces parties constitutives ne font jamais défaut, même aujourd'hui, dans la mer,

dans les lacs et les marais, où ces mêmes classes d'animaux se rencontrent.

L'eau dans laquelle vivaient ces infusoires d'un monde antérieur contenait la silice et la craie dans un état de dissolution convenable pour pouvoir, par l'évaporation, se déposer sous forme de marbre, de quartz et de roches analogues. Sans doute cette séparation n'aurait pu se faire de la manière ordinaire si l'eau n'avait pas contenu, en outre, les résidus en putréfaction et en combustion lente des diverses classes d'animaux qui existaient alors, et par lesquels se trouvaient remplies les autres conditions nécessaires pour la vie des infusoires formés de silice et de chaux.

Sans la réunion de toutes ces substances ensemble, aucune de ces classes d'animalcules ne se fût ni propagée ni accumulée en masses aussi énormes; celles-ci n'ont servi que de moyens intermédiaires accidentels pour donner la forme que montrent les petites particules dont les gisements sont composés. Nous disons moyens accidentels, parce que la séparation de la chaux, de la silice et de l'oxide de fer, aurait également eu lieu sans la présence de ces animalcules. L'eau de la mer contient la chaux dont se forment les coraux et les innombrables crustacés qui vivent dans son sein, sous la même forme et douée des mêmes propriétés que la chaux qui se trouve dans les lacs et les marais dans lesquels se développent les animalcules crayeux ou crustacés, et qui sert à la formation de leurs enveloppes calcaires.

Il est déjà assez étonnant que la force active de l'organisme soit capable de produire, avec quatre éléments seulement, un nombre de combinaisons infini, même

dans le sens mathématique du mot; qu'avec son concours, il résulte du carbone, de l'azote, de l'hydrogène et de l'oxigène d'autres corps qui possèdent toutes les propriétés des oxides métalliques ou celles des acides inorganiques et des sels; qu'aux limites des combinaisons des éléments inorganiques proprement dits, commence une série de combinaisons organiques si vaste, que nous ne pouvons encore l'embrasser du regard. Dans la nature organique, nous voyons se reproduire tous les phénomènes chimiques de la nature inorganique, toutes les innombrables combinaisons des métaux et des métalloïdes. Du carbone et de l'azote; du carbone, de l'hydrogène et de l'oxigène; de l'azote et de l'hydrogène, il résulte des atomes composés qui ressemblent parfaitement, quant à leurs propriétés, au chlore ou à l'oxigène, ou au soufre, ou à un métal, et cela non seulement dans quelques unes de leurs propriétés, mais dans toutes.

On aurait de la peine à se figurer quelque chose de plus merveilleux que la combinaison qui résulte du carbone et de l'azote; c'est une combinaison gazeuse (le cyanogène) dans laquelle les métaux brûlent, comme dans l'oxigène, avec dégagement de lumière et de chaleur; c'est un corps composé qui, selon ses propriétés et son mode d'action, joue le rôle de corps simple, d'élément, dont les plus petites parties possèdent la même forme que celles du chlore, du brome et de l'iode, et le remplacent dans leurs combinaisons sans faire éprouver aucun changement à leur forme de cristallisation. C'est sous cette forme, et non sous aucune autre, que le corps vivant crée des éléments, des mé-

taux, des métalloïdes, et d'autres groupes d'atomes qui sont tellement disposés, que les forces qui agissent en eux viennent à se manifester dans des directions beaucoup plus variées. Mais il n'y a aucune force dans la nature qui, d'elle-même, soit capable de produire et de créer quelque chose; il n'y en a aucune qui puisse détruire la cause qui donne à la matière ses propriétés. Le fer ne cesse jamais d'être du fer; le carbone, du carbone; l'hydrogène, de l'hydrogène; jamais il ne peut résulter ni fer, ni soufre, ni phosphore, des éléments des corps organiques. L'époque où de pareilles opinions ont pu être admises et enseignées sera regardée, dans un demi-siècle d'ici, avec le même sourire de pitié que nous considérons nous-mêmes la période du développement de l'alchimie. Il est dans la nature de l'homme de se créer de semblables opinions dans tous les cas où son esprit, comme dans l'enfance, est encore trop peu développé pour concevoir la vérité. L'acquisition des richesses intellectuelles se fait comme celle des biens qui regardent les besoins les plus ordinaires de la vie; les connaissances qui élèvent et étendent nos forces matérielles, la pénétration et la connaissance de la vérité, ne sont jamais que les fruits du travail et de nos efforts. Il n'y a indigence que là où manque une volonté ferme; quant aux moyens, ils sont partout.

DIX-SEPTIÈME LETTRE.

Rapport de la chimie avec la physiologie. — Classification des aliments en substances nutritives et moyens de respiration. — Action de l'oxigène de l'atmosphère. — Équilibre entre le carbone et l'oxigène.

Notre époque a vu se réaliser un des phénomènes les plus importants dans la science : c'est l'alliance de la physiologie avec la chimie ; alliance à laquelle nous sommes redevables d'une lumière inattendue sur les fonctions de la vie dans l'animal et dans la plante. On ne conserve plus aucun doute sur ce qu'on doit appeler *poison*, *aliment* ou *médicament*. Dans la notion de la faim et dans celle de la mort, on ne tourne plus aut[illegible] simple description. Nous savons aujourd'hui [illegible] certitude positive, que les aliments des hom[illegible]

visent en deux grandes classes, dont la première sert à la nutrition proprement dite et à la reproduction; tandis que l'autre, dans le corps de l'animal, atteint des buts bien différents. On peut démontrer avec toute la rigueur mathématique que la bière n'est pas nourrissante; qu'elle ne renferme aucune partie constituante capable de devenir du sang, de la fibre musculaire, ni de faire partie d'aucun des agents de l'activité vitale. Le renversement complet de toutes les idées antérieures sur la part que prennent la bière, le sucre, l'amidon, la gomme, etc., aux fonctions de la vie, donnera certainement, dans un cercle plus vaste, de l'intérêt à une exposition détaillée des recherches et des points de vue les plus récents sur ce sujet.

Les premières conditions du maintien de la vie animale sont de prendre de la nourriture (d'assouvir sa faim), et d'aspirer l'oxigène de l'air (acte de la respiration). L'homme aspire de l'oxigène à chaque instant de la vie par les organes de la respiration. Tant que l'animal vit, on n'aperçoit pas dans cette fonction un seul moment d'interruption. Les observations des physiologistes constatent que le corps d'un homme adulte, après avoir pris une nourriture suffisante, n'a, après vingt-quatre heures, ni augmenté, ni diminué de poids, et néanmoins la quantité d'oxigène qui a pénétré dans son organisme, pendant cet intervalle, est considérable. D'après les expériences de Lavoisier, le corps d'un homme qui a atteint toute sa croissance, prend à l'atmosphère, dans un an, 746 livres, et d'après Menzies, 837 livres d'oxigène, et pourtant on trouve que, du commencement à la fin de l'année, le poids de son

corps n'a éprouvé aucun changement ; que s'il y a eu diminution ou augmentation, ce n'est guère que de quelques livres.

Que devient, peut-on se demander, ce poids énorme d'oxigène qu'un individu absorbe ainsi dans l'espace d'un an ? Cette question se trouve résolue avec un degré de certitude satisfaisant : aucune partie de l'oxigène absorbé ne reste dans le corps ; la totalité en sort de nouveau sous la forme d'une combinaison carbonée ou hydrogénée. Le carbone et l'hydrogène de certaines parties de l'organisme se sont unis avec l'oxigène, qui est absorbé par la peau et par le poumon, et ils sont ensuite rejetés au dehors à l'état d'acide carbonique et de vapeur d'eau. A chaque mouvement de la respiration, et pendant toute la durée de la vie, certaines quantités des parties constituantes de l'organisme animal se séparent de celui-ci après s'être combinées, dans le corps même, avec l'oxigène atmosphérique. Maintenant, afin d'avoir une base pour le calcul, admettons, avec Lavoisier et Séguin, qu'un homme adulte absorbe, par jour, 994 grammes d'oxigène (46037 pouces cubes = 15661 grains) ; supposons, en outre, que le corps de cet homme renferme 24 livres de sang, lequel contient 80 pour cent d'eau, il s'ensuit, d'après la composition connue du sang, que pour transformer complètement son carbone et son hydrogène en acide carbonique et en eau, il faut 66040 grains (4271 grammes) d'oxigène, laquelle quantité pénètre dans le corps d'un adulte dans l'espace de quatre jours et cinq heures.

Quel que soit le mode d'action de cet oxigène, qu'il se fixe dans le corps, sur les principes du sa[illegible]

d'autres matières carbonées ou hydrogénées, rien ne peut s'opposer à cette conclusion : que le corps de l'homme doit reprendre, par les aliments, dans l'espace de quatre jours et cinq heures, autant de carbone et d'hydrogène qu'il en faut pour pourvoir de ces principes 24 livres de sang, en supposant que le poids du corps ne doive pas varier et que celui-ci reste dans son état normal. C'est par les *aliments* que se fait cette compensation. En déterminant exactement la quantité de carbone qui est ingérée dans le corps au moyen des aliments, et celle qui est rejetée avec les fèces et les urines à l'état non brûlé, ou, si l'on veut, qui se trouve sous une forme autre que celle d'une combinaison oxigénée, il en résulte qu'un homme adulte qui fait un exercice modéré, consomme, par jour, 435 grammes de carbone (1) qui s'échappent par la peau et par les poumons, sous forme de gaz acide carbonique : or,

(1) Les nombres cités ci-dessus se rapportent, en moyenne, à la consommation de 856 soldats casernés, dont la nourriture (pain, pommes de terre, viande, lentilles, pois, haricots, etc.) a été pesée avec la plus grande exactitude, jusqu'au poivre, au sel et au beurre, pendant un mois; et dont chaque substance en particulier a été soumise à l'analyse élémentaire. La consommation a été la même pour tous, si ce n'est à l'égard de trois soldats de la garde qui, à chaque jour de prêt, outre la ration de pain d'ordonnance (2 livres par jour), recevaient une demi-miche de plus (en tout 2 1/2 livres), à l'égard d'un tambour qui avait une demi-miche de reste. On n'a pas compris, dans ce calcul, la quantité de carbone renfermée dans les légumes frais, ni celui de la choucroute; on n'y a pas compris non plus, ce que les soldats consommaient le soir. Suivant

pour se transformer en ce gaz, un pareil poids de carbone exige 1157 grammes d'oxigène. D'après les analyses de M. Boussingault (*Ann. de Chim. et de Phys.*, LXX, 1, p. 136), un cheval consomme, en 24 heures, 2465 grammes de carbone ; une vache laitière en consomme 2212 grammes. Ces quantités de carbone sont rejetées à l'état d'acide carbonique. Le cheval a employé, pour convertir, dans l'espace de 24 heures, ce carbone en acide carbonique, 6504 grammes d'oxigène, et la vache en a usé 5833 grammes. Puisque aucune partie de l'oxigène absorbé ne ressort du corps sous une forme autre que celle d'une combinaison carbonée ou hydrogénée, et que, de plus, dans l'état normal le carbone et l'hydrogène ainsi éliminés sont restitués par les aliments, il est évident que la quantité d'aliment exigée pour l'entretien des fonctions vitales doit être en rapport direct avec la quantité d'oxigène

une évaluation approximative du sergent-major, chaque soldat consomme par jour, terme moyen, 6 loths (3 onces de saucisse, 1 1/2 loth de beurre, 1/2 schoppen (0 litre 5) de bière, et 1/10 schoppen d'eau-de-vie, ce qui contient une quantité de carbone plus que double de celle qui se trouve à la fois dans les matières fécales et dans l'urine. Les excréments d'un soldat pèsent, l'un portant l'autre, 11 1/2 loths ; ils renferment 75 pour cent d'eau ; et le résidu desséché contient 45,24 pour cent de carbone, et 13,15 pour cent de cendres. Cent parties d'excréments, à l'état frais, renferment donc 11,31 de carbone, c'est-à-dire, à peu de chose près, autant qu'un poids égal de viande fraîche. On a admis dans ce calcul que le carbone des matières fécales et de l'urine compensait celui des légumes frais et des autres aliments qui étaient consommés au cabaret.

absorbée. Deux animaux qui, dans le même temps, absorbent, par la peau et par les poumons, des quantités inégales d'oxigène, consomment, dans un rapport semblable, un poids différent du même aliment. La consommation de l'oxigène, pour des temps égaux, peut s'exprimer par le nombre des inspirations; il est donc évident que, chez un seul et même animal, la quantité de nourriture varie suivant le nombre et l'étendue de ces inspirations. Un enfant, chez lequel les organes respiratoires sont plus actifs que ceux d'un homme adulte, doit prendre plus de nourriture et en plus grande quantité, à proportion, que ce dernier; il peut supporter la faim moins facilement. Un oiseau privé de nourriture meurt le troisième jour; un serpent, placé pendant une heure sous une cloche, aspire à peine assez d'oxigène pour que l'acide carbonique produit devienne sensible: aussi peut-il vivre sans nourriture pendant trois mois, et même plus longtemps encore. Dans l'état de repos, le nombre des mouvements respiratoires est moindre que dans l'état d'agitation et de travail. La quantité de nourriture nécessaire dans ces deux états doit se trouver dans le même rapport.

Une abondance de nourriture et une insuffisance d'oxigène inspiré (ou le défaut de mouvement); ou bien un excès de mouvement (lequel nécessite une plus grande quantité de nourriture) et une faiblesse dans les organes digestifs, sont des états incompatibles. La quantité d'oxigène, qu'un animal inspire par les poumons dépend non seulement du nombre des inspirations, mais aussi de la température de l'air inspiré. La capacité de la poitrine d'un animal a une grandeur

constante ; il y entre, à chaque inspiration, une certaine quantité d'air, qui, sous le rapport du volume, peut être regardée comme toujours égale ; mais le poids de cet air, et par conséquent aussi celui de l'oxigène qu'il renferme, ne restent pas égaux. L'air se dilate par la chaleur, et par le froid il se contracte ; dans deux volumes égaux d'air froid et d'air chaud, il y a donc un poids inégal d'oxigène.

Pendant l'été, l'air atmosphérique contient de la vapeur d'eau ; en hiver, il est sec ; l'espace que dans l'été la vapeur d'eau occupe dans l'air chaud est remplacé, en hiver, par de l'air ; ce qui veut dire qu'en hiver l'air, à volume égal, contient plus d'oxigène qu'en été.

En été, comme en hiver, sous les pôles, comme sous l'équateur, nous respirons toujours le même volume d'air. L'air froid, pendant la respiration, s'échauffe dans le canal par lequel il passe, ainsi que dans les cellules des poumons, et il y prend la température du corps. Pour amener une certaine quantité d'oxigène dans les poumons, il faut, en hiver, une dépense de force moins grande qu'en été ; pour une même consommation de force, on inspire, en hiver, plus d'oxigène.

Il est évident qu'avec le même nombre de mouvements pulmonaires, nous consommons, au bord de la mer, une plus grande quantité d'oxigène que sur le haut des montagnes ; que la quantité d'acide carbonique expulsée par les poumons, ainsi que l'oxigène absorbé par eux, varie suivant la pression barométrique.

L'oxigène inspiré est rejeté, en hiver comme en été, dans un état de combinaison identique. A

basse température, et sous une plus forte pression de l'air, nous expirons plus d'acide carbonique qu'à une température élevée ; et nous devons consommer, par les aliments, dans le même rapport, plus ou moins de carbone. En Suède, il faut en prendre plus qu'en Sicile ; dans nos régions, il faut en prendre, en hiver, en tout, 1/8 de plus qu'en été. Lors même que nous consommerions, dans les pays froids et dans les pays chauds, des quantités de nourriture égales en poids, une sagesse infiniment grande a disposé les choses de manière que ces aliments renferment des quantités fort inégales de carbone. Les fruits qu'un habitant d'un pays méridional consomme ne contiennent, à l'état frais, pas plus de 12 pour cent de carbone ; tandis que le lard et l'huile de poisson dont se nourrit l'habitant des régions polaires, en contiennent de 66 à 80 pour cent. Ce n'est pas une chose bien difficile que de se soumettre à la sobriété dans les pays chauds, ou que d'avoir à supporter longtemps la faim sous l'équateur ; mais le froid et la faim réunis épuisent le corps en peu de temps. L'action réciproque des matières constitutives des aliments et de l'oxigène répandu dans le corps par la circulation du sang, voilà *la source de la chaleur animale*.

DIX-HUITIÈME LETTRE.

Chaleur animale : ses lois, son action sur les fonctions de l'organisme animal. — Pertes et compensations. — Influence du climat. — Sources de la chaleur animale. — Effet de l'oxigène dans les maladies. — Respiration.

La source de la chaleur animale, les lois suivant lesquelles cette chaleur se produit, l'influence qu'elle exerce sur les fonctions de l'organisme animal, sont des sujets qui instruisent et qui intéressent à un si haut degré, que je ne puis me dispenser de les signaler par quelques faits à votre attention.

Tous les êtres vivants dont l'existence repose sur une absorption d'oxigène possèdent une source de chaleur indépendante du milieu dans lequel ils vivent : c'est une vérité qui se rapporte à tous les animaux ; elle s'applique même à la graine qui germe, aux fleurs

plantes et aux fruits en maturation. Il ne se produit de la chaleur que dans les parties de l'animal où peut arriver le sang artériel, et, par celui-ci, l'oxigène absorbé par la respiration; les poils, la laine, les plumes n'ont pas de température qui leur soit propre. Cette température, plus élevée dans le corps de l'animal, ou, si l'on veut, cette émanation de chaleur, est, partout et dans toutes les circonstances, la conséquence de la combinaison d'un corps combustible avec l'oxigène. Quelle que soit la forme sous laquelle le carbone se combine avec l'oxigène, l'acte de la combinaison ne peut s'accomplir sans être accompagné d'une production de chaleur. Il n'importe nullement que cette combinaison se fasse rapidement ou avec lenteur, à une haute ou à une basse température : la quantité de chaleur qui est mise en liberté reste invariablement la même. Le carbone des aliments, en se transformant, dans le corps des animaux, en acide carbonique, dégage exactement autant de chaleur que s'il brûlait directement dans l'air ou dans l'oxigène; la seule différence, c'est que la quantité de chaleur produite se répartit dans des intervalles de temps inégaux. Dans l'oxigène pur, la combustion se fait d'une manière plus rapide, et la température est plus élevée; dans l'air, la combustion est plus lente, la température est moindre, mais aussi elle se maintient plus longtemps.

Il est évident que le nombre des degrés de chaleur qui se produisent dans l'acte de la respiration doit diminuer ou augmenter suivant la quantité d'oxigène qui arrive aux poumons dans des temps égaux. Les animaux dont la respiration est vive et prompte con-

somment par conséquent plus d'oxigène dans le même intervalle de temps, et pour un égal volume de corps à échauffer. Un enfant, dont la température est de 39°, absorbe plus d'oxigène qu'un adulte, chez qui elle est de 37°,5. Un oiseau, dans le corps duquel le thermomètre marque 40 ou 41°, en absorbe plus qu'un quadrupède, dont la température est de 37 à 38°, et plus qu'un poisson ou un amphibie, dont la température propre est de 1 1/2 ou 2° plus élevée que celle de leur milieu ambiant. Tous les animaux sont à sang chaud; mais ce n'est que chez ceux qui respirent par les poumons que la température propre est tout-à-fait indépendante de la température du milieu dans lequel ils vivent. Les observations les plus dignes de foi constatent que la température de l'homme, ainsi que celle de tous les animaux dits à sang chaud, reste la même dans tous les climats; dans la zone tempérée comme sous l'équateur ou sous les pôles; et pourtant, quelles différences n'existe-t-il pas dans leurs conditions d'existence! Le corps d'un animal est un corps chauffé qui se comporte, quant à ce qui l'entoure, comme le font tous les corps chauds: il reçoit de la chaleur si la température extérieure est plus élevée que la sienne; il en cède, au contraire, si cette température extérieure est au-dessous de sa température propre. Nous savons que la vitesse de refroidissement de tout corps chaud augmente avec la différence qui existe entre la température de ce corps et celle du milieu dans lequel il se trouve, c'est-à-dire que plus le milieu est froid, plus le refroidissement du corps est prompt. Cependant quelle différence n'y a-t-il pas entre la perte de chaleur éprou-

vée par un homme vivant à Palerme, où la température extérieure est presque égale à celle du corps, et la perte de chaleur qu'éprouve un homme qui vit sous le pôle, où la température atmosphérique lui est inférieure de 40 à 50° ! Malgré une différence aussi extrême dans cette déperdition de chaleur, l'expérience démontre que le sang de l'habitant des régions polaires ne possède pas une température inférieure à celle du sang de l'habitant des pays chauds, qui vit pourtant dans un milieu si différent. Ce fait, étant compris dans son véritable sens, prouve que la chaleur perdue se trouve remplacée dans l'organisme animal avec une rapidité égale à celle de la perte. Cette restitution se fait plus promptement en hiver qu'en été, et d'une manière plus rapide aux pôles que sous l'équateur.

La quantité d'oxigène absorbée dans le corps par l'effet des mouvements de la respiration varie, dans les différents climats, suivant la température de l'air atmosphérique ; la quantité d'oxigène inspirée s'accroît avec la perte de chaleur causée par le refroidissement ; la quantité de carbone ou celle d'hydrogène nécessaires pour la combinaison de cet oxigène doivent s'accroître dans le même rapport. Il est évident que la compensation de la chaleur perdue s'effectue par l'action réciproque des matières constituantes des aliments et de l'oxigène respiré, avec lequel elles se combinent. Pour nous servir d'une comparaison triviale, mais qui n'en est pas moins pleine de justesse, nous dirons que le corps de l'animal se comporte, sous ce rapport, comme un poêle qu'on entretient de combustible. Peu importent les formes que les aliments prennent successive-

ment dans le corps, peu importent les changements qu'ils éprouvent, la dernière transformation est celle du carbone en acide carbonique, celle de l'hydrogène en eau; l'azote et le charbon non brûlé sont évacués par les urines et par les excréments solides. Pour avoir dans le poêle une température constante, il faut, selon que la température extérieure varie, l'alimenter avec des quantités différentes de combustible. Pour le corps animal, le combustible, ce sont les aliments. Avec un accès convenable d'oxigène, nous obtenons, par l'oxidation des aliments, la chaleur qui devient libre. En hiver, lorsque nous prenons de l'exercice dans l'air froid, la quantité d'oxigène inspiré venant à s'augmenter, le besoin des aliments carbonés et hydrogénés s'accroît aussi dans le même rapport, et, en donnant satisfaction à ce besoin, nous en obtenons le secours le plus efficace pour résister au froid les plus intense. Un homme qui a faim éprouve aussi du froid, et tout le monde sait que les animaux rapaces des climats du nord surpassent de beaucoup, en voracité, ceux des contrées méridionales. Dans la zone froide, et dans la zone tempérée, l'air, qui tend continuellement à consumer le corps, nous pousse au travail et aux efforts, afin de nous créer les moyens de résister à cette influence, tandis que dans les pays chauds, le besoin de se procurer les moyens de se nourrir est loin d'être aussi impérieux.

Nos vêtements ne sont autre chose que des équivalents pour les aliments: plus nous nous habillons chaudement, plus, jusqu'à un certain point, le besoin de manger diminue, par la raison que la déperdition de chaleur, le refroidissement, et par conséquent la réparation de

cette chaleur par les aliments, diminuent aussi. Si nous allions nus comme les Indiens, ou bien si nous allions à la chasse et à la pêche, exposés à un froid glacial, comme le Samoïède, nous pourrions, comme ce dernier, manger la moitié d'un veau, et de plus une douzaine de chandelles de suif, ainsi que des voyageurs, qui étaient chaudement vêtus, nous l'ont raconté avec étonnement; nous pourrions prendre les mêmes quantités d'eau-de-vie ou d'huile de poisson, parce que le carbone et l'hydrogène de ces aliments sert à établir l'équilibre entre la température de l'atmosphère et celle de notre corps.

La quantité d'aliments à consommer se règle, d'après ce que nous venons d'exposer, sur le nombre des mouvements des organes respiratoires, sur la température de l'air que nous respirons, et sur la quantité de chaleur que le corps cède à l'extérieure. Aucun fait isolé contraire ne peut changer cette loi de la nature. Le Napolitain ne peut, sans nuire à sa santé d'une manière passagère ou permanente, prendre, par ses aliments, plus de carbone et d'hydrogène qu'il n'en exhale par la respiration; ni aucun habitant du Nord ne peut exhaler plus de carbone et d'hydrogène que les aliments qu'il prend n'en introduisent dans son économie, à moins qu'il ne soit malade ou qu'il ne souffre de la faim, — deux états du corps que nous éclaircirons avec plus de détails. L'Anglais, dont l'appétit lui procure des jouissances souvent renouvelées, voit avec regret cet appétit se perdre dans la Jamaïque; et c'est au moyen du poivre de Cayenne et des excitants les plus énergiques qu'il réussit à y prendre la même quantité

d'aliments que dans son pays. Mais le carbone de ces aliments, ainsi entrés dans le corps, n'y est pas mis à profit, car la température de l'air est trop élevée, et la chaleur énervante du climat ne permet pas d'augmenter le nombre des inspirations par le mouvement et le travail; elle ne permet par conséquent pas à ces inspirations d'amener avec elles une proportion d'oxigène qui soit en rapport avec les matières consommées. Dans une situation opposée, les personnes souffrantes, dont les organes digestifs sont affaiblis par la maladie au point qu'il y ait chez elles ou absence ou diminution de la faculté d'élaborer les aliments et de les rendre propres à se combiner avec l'oxigène, ces personnes, disons-nous, offrent moins de résistance que n'en exige le climat, c'est-à-dire la température de leur pays, et l'Angleterre les envoie alors dans les contrées méridionales, où la quantité d'oxigène aspirée diminue comparativement beaucoup, ce qui a pour résultat une amélioration réelle de leur santé. Les organes digestifs malades ont encore assez de vigueur pour pouvoir mettre une faible quantité d'aliments en rapport avec l'oxigène absorbé; il faudrait que, dans les pays froids, les organes de la respiration de ces malades fussent à même de résister à l'action de l'oxigène. Chez nous, les maladies prédominantes, en été, sont celles du foie (maladie de carbone), tandis qu'en hiver, ce sont les maladies du poumon (maladies d'oxigène).

Le refroidissement du corps, quelle qu'en soit la cause, exige une plus grande quantité de nourriture. Le seul séjour dans le grand air, soit dans une voiture de voyage, soit sur le pont d'un navire, augmente la

déperdition de chaleur par le rayonnement et par une quantité plus considérable d'exhalations, sans que nous nous donnions plus de mouvement; nous nous voyons alors obligés de manger plus qu'à l'ordinaire. Il en est de même des personnes habituées à boire de grandes quantités d'eau froide, qu'elles n'évacuent qu'à la température de 37 degrés; cette eau augmente leur appétit, et les personnes d'une constitution débile ont besoin, dans ce cas, d'un exercice soutenu, afin d'amener au corps l'oxigène nécessaire pour lui restituer la chaleur que l'eau froide lui a fait perdre. Les efforts continus de la voix pour parler ou pour chanter, les cris chez les enfants, le séjour dans un air humide, ce sont autant de causes qui exercent une influence définie et évidente sur la quantité d'aliments à prendre.

Nous avons admis dans ce qui précède que le carbone et l'hydrogène sont destinés notamment à se combiner avec l'oxigène et à produire la chaleur animale; les observations les plus simples constatent, en effet, que l'hydrogène des aliments joue un rôle non moins important que celui de leur carbone. Tout l'acte de la respiration nous paraît être rendu parfaitement clair lorsque nous observons l'homme ou l'animal dans un état d'abstinence complète de nourriture. Les mouvements de la respiration restent les mêmes, l'oxigène de l'atmosphère est toujours absorbé, et il y a toujours exhalation d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Nous savons, avec une certitude qui ne permet pas le doute, d'où résultent le carbone et l'hydrogène, car nous voyons diminuer le carbone et l'hydrogène du corps de l'individu, comme conséquence de la faim. Le premier effet de la

faim, c'est la disparition de la graisse; mais cette graisse ne se trouve ni dans les excréments solides, qui sont alors peu abondants, ni dans les urines; son carbone et son hydrogène ont été évacués par la peau et par le poumon, sous forme de combinaisons oxigénées; il est évident que les parties constituantes de cette graisse ont servi à la respiration. Un homme, ainsi que nous l'avons dit, absorbe chaque jour 1015 grammes d'oxigène, lequel enlève, par l'évacuation, une partie du corps de l'individu affamé. M. Currie a vu un malade qui ne pouvait pas avaler, perdre, dans l'espace d'un mois, plus de 100 livres de son poids. Et un porc gras qui avait été englouti sous un éboulement, perdit plus de 120 livres, après avoir vécu sous terre, sans nourriture, pendant cent soixante jours. (MARTELE, *Transactions for the Linnean Society*, vol. XI, p. 411.) La manière d'exister des animaux hibernants, ainsi qu'une accumulation périodique de graisse chez d'autres animaux, graisse qui disparaît à certaines périodes de la vie sans qu'il en reste la moindre trace, tous ces phénomènes bien connus démontrent que l'oxigène, dans la respiration, ne fait aucun choix quant aux matières susceptibles de se combiner avec lui. L'oxigène se combine avec tout ce qui lui est offert, et ce n'est que le manque d'hydrogène qui fait qu'il se forme en général de l'acide carbonique, puisque, à la température du corps, l'affinité de l'hydrogène pour l'oxigène surpasse de beaucoup celle du carbone pour ce dernier corps. Nous savons, en effet, que les animaux herbivores exhalent un volume d'acide carbonique égal au d'oxigène inspiré, tandis que chez les carniv

sont la seule classe d'animaux qui fasse entrer de la graisse dans sa nourriture, il s'absorbe plus d'oxigène qu'il n'en correspond à l'acide carbonique exhalé. Des expériences positives ont démontré que, dans quelques cas, il y a chez ces derniers animaux une exhalation d'acide carbonique égale seulement à la moitié du volume d'oxigène absorbé. Ces observations sont à l'abri de toute réfutation; elles sont plus convaincantes que ne peuvent l'être tous les phénomènes qu'on produit artificiellement et arbitrairement, et auxquels on donne le nom d'expériences; expériences absolument inutiles, et qui manquent de solidité toutes les fois qu'on a l'occasion d'observer la nature et qu'on sait mettre avec intelligence cette occasion à profit.

Chez les individus qui endurent la faim, c'est non seulement la graisse qui disparaît, mais graduellement aussi toutes les matières solides qui sont susceptibles de se dissoudre. Dans les cadavres amaigris de ceux qui meurent de faim, les muscles se trouvent amoindris, rigides et privés de contractilité; toutes les parties du corps qui étaient susceptibles de mobilité ont servi à préserver les autres tissus de l'action de l'atmosphère, laquelle détruit tout; les principes du cerveau eux-mêmes ont fini par prendre part à cette oxigénation; de là les hallucinations, le délire et la mort, c'est-à-dire la cessation de toute résistance: alors l'acte chimique de la putréfaction commence; toutes les parties du corps se combinent avec l'oxigène de l'atmosphère. Le temps ...s lequel un homme affamé meurt se règle sur l'état ...sité de l'individu, sur le mouvement qu'il se donne ...-à-dire sur ses efforts, son travail), et sur la tempé-

rature de l'air. Enfin la mort dépend encore de la présence ou de l'absence de l'eau. Il s'exhale une certaine quantité de ce liquide par la peau et par les poumons, et comme il est l'intermédiaire de tous les mouvements, son évacuation ne fait que hâter le terme de la vie. Il y a des exemples dans lesquels, par suite de l'usage non interrompu de l'eau, la mort n'a eu lieu qu'au bout de vingt jours; l'on cite même un cas où elle n'est arrivée qu'après soixante jours.

Dans toutes les maladies chroniques, la mort résulte de la même cause, de l'action de l'atmosphère. Lorsque les substances qui sont destinées à l'entretien de la respiration viennent à manquer dans l'organisme, lorsque les organes du malade refusent de fonctionner et perdent la faculté de mettre, pour leur propre conservation, les aliments dans l'état qui convient pour qu'ils entrent en combinaison avec l'oxigène, alors les organes eux-mêmes sont sacrifiés, et l'oxigène se porte sur la graisse, sur la substance du cerveau, sur celle des muscles et des nerfs. La cause réelle de la mort est, dans ces cas, dans l'acte même de la respiration, dans l'influence de l'atmosphère. Le manque de nourriture, la privation de la faculté de transformer des aliments en parties constitutives de l'organisme, c'est l'absence de la résistance, c'est la cause négative de la cessation de l'activité de la vie. La flamme s'éteint parce que l'huile est consommée, et c'est l'oxigène de l'air qui l'a consommée.

Dans certains états de maladie, il se produit des matières qui ne conviennent pas à l'assimilation; ell
éloignées du corps par une simple abstinence

Si l'augmentation de masse dans le corps de l'animal, si le développement de ses organes et leur reproduction se font par le sang, c'est-à-dire par les parties qui le constituent, on ne peut donner le nom d'*aliments* qu'aux substances qui sont susceptibles de se transformer en sang. L'examen des matières capables de se transformer en sang se borne donc à la détermination de la composition des aliments et à la comparaison de cette composition avec celle du sang. Deux substances sont principalement à considérer comme parties essentielles du sang : l'une, c'est la *fibrine*, qui s'en sépare dès que celui-ci est soustrait à la circulation. Tout le monde sait que le sang se coagule par le repos ; qu'il se sépare en un liquide jaunâtre auquel on donne le nom de *sérum*, et en une masse gélatineuse, qui s'attache, sous forme de filaments mous et élastiques, aux baguettes avec lesquelles on fouette le sang frais à mesure qu'il se coagule. L'autre principe essentiel du sang se trouve dans le sérum ; c'est lui qui communique à ce liquide toutes les propriétés du blanc d'œuf, étant lui-même identique avec cette partie constitutive de tous les œufs. Il se coagule par la chaleur, et il se forme en une masse blanche et élastique qui est l'*albumine*. La fibrine et l'albumine, parties essentielles du sang, renferment, en tout, sept éléments chimiques, parmi lesquels on remarque surtout l'azote, le phosphore et le soufre, ainsi que la substance des os. On trouve en dissolution dans le sérum : du sel marin, et d'autres sels à bases de potasse et de soude, et formés par l'acide carbonique, par l'acide phosphorique et par l'acide sulfurique. Les globules sanguins contiennent de la fibrine et de

l'albumine, ainsi qu'une matière colorante rouge dans laquelle il entre toujours du fer comme partie constituante. Indépendamment de ces substances, le sang renferme encore quelques corps gras, en petites quantités, lesquels diffèrent des graisses ordinaires par plusieurs propriétés.

L'analyse chimique a conduit à ce résultat remarquable, que la fibrine et l'albumine renferment les mêmes éléments, unis entre eux dans les mêmes proportions de poids; de telle sorte qu'en faisant deux analyses, l'une de la fibrine, l'autre de l'albumine, nous n'apercevons, pour la composition centésimale de ces deux corps, pas plus de différence que si les deux analyses avaient été faites uniquement avec de la fibrine ou avec de l'albumine.

Il est évident que, dans l'une et dans l'autre de ces deux parties constituantes du sang, les éléments sont diversement groupés, ainsi que le prouve la différence de leurs propriétés, mais qu'ils sont identiques quant à leur composition. Ce fait a été récemment confirmé de la manière la plus nette par un physiologiste distingué (M. Denis), qui est parvenu à transformer artificiellement la fibrine en albumine, c'est-à-dire à communiquer à la première les caractères de solubilité et de coagulabilité qui distinguent le blanc d'œuf. Outre l'identité de cette composition, ces deux principes partagent encore cette propriété chimique, qu'ils se dissolvent tous deux dans l'acide hydrochlorique concentré, en donnant chacun une couleur bleue d'ind foncée, et un liquide qui se comporte de la même nière avec tous les réactifs qu'on met en contact

lui. Dans l'acte de la nutrition, l'albumine et la fibrine du sang peuvent l'une et l'autre devenir fibre musculaire, et réciproquement la substance des muscles peut se transformer de nouveau en sang. Cette transformation est, depuis longtemps, mise tout-à-fait hors de doute par les physiologistes; la chimie a donc seulement démontré que ces métamorphoses, pour l'un et l'autre corps, peuvent s'effectuer soit en avant, soit en arrière, par la seule influence de l'activité vitale, sans le secours d'un troisième corps, ni d'aucun de ses éléments, sans qu'aucun élément étranger intervienne ni qu'aucun de ceux qui sont présents se sépare.

Si nous comparons maintenant la composition de tous les tissus des animaux avec celle de la fibrine et celle de l'albumine qui se trouvent dans le sang, voici les rapports qui résultent de cette comparaison : toutes les parties du corps animal qui possèdent une forme définie, c'est-à-dire qui appartiennent à des organes, renferment de l'azote. Aucune partie, aucun principe d'organe doué de mouvement et de vie n'est privé d'azote; tous contiennent, en outre, du carbone et les éléments de l'eau; ces derniers éléments, toutefois, n'y sont jamais dans les proportions qui constituent l'eau. Les principes essentiels du sang renferment à peu près 16 pour cent d'azote; aucune partie d'un organe quelconque ne renferme moins d'azote que le sang. Les expériences et les observations les plus concluantes ont démontré que l'économie animale est incapable de créer un seul élément chimique; qu'elle ne peut produire ni carbone ni azote, avec d'autres substances dans les-

quelles ces deux corps n'existent pas; il est, par conséquent, évident que toutes les substances alimentaires qui sont destinées à la sanguification ou à la formation des tissus, à celle des membranes, de la peau, des poils, des muscles, doivent renfermer une certaine proportion d'azote, puisque cet élément se trouve dans la composition de ces organes, puisque les organes sont incapables de le créer d'eux-mêmes avec les autres éléments qu'on leur offre, et puisque l'azote de l'atmosphère n'est pas mis à profit dans l'élaboration vitale.

Le corps animal contient, dans la substance des nerfs et dans celle du cerveau, une grande quantité d'albumine, et, en outre, deux acides gras particuliers, qui se distinguent de toutes les autres matières grasses en ce qu'ils renferment du phosphore (acide phosphorique?). L'un de ces deux acides gras contient de l'azote. Enfin l'eau et la graisse constituent les principes non azotés de l'économie animale. Ces deux dernières substances sont dépourvues de forme, et ne prennent part à l'acte de la vie qu'autant qu'elles servent d'intermédiaires aux fonctions vitales. Le fer, la chaux, la magnésie, le sel marin, ainsi que les alcalis, sont les parties constituantes non organiques qui entrent dans l'organisme animal.

La nutrition des carnivores est celle qui, parmi tous les animaux, suit la marche la plus simple. Ils vivent du sang et de la chair des herbivores et des granivores: or, ce sang et cette chair sont identiques, dans toutes leurs propriétés, avec le sang et la chair des carnivores eux-mêmes; il n'y a aucune différence perceptible soit

sous le point de vue chimique, soit sous le point de vue physiologique.

Les aliments des carnivores dérivent du sang ; ils se liquéfient dans leur estomac, et peuvent alors être transportés dans d'autres parties du corps ; ils y redeviennent du sang, et c'est de ce sang liquide que se reproduisent toutes les parties de leurs corps qui ont éprouvé un changement ou une transformation. A l'exception des ongles, des poils, des plumes et de la substance des os, il n'y a aucune des parties constituantes des aliments dont se nourrisent les carnivores qui résiste à l'assimilation. On peut donc dire, chimiquement parlant, que le carnivore se consomme lui-même pour entretenir ses fonctions vitales. Ce qui lui sert de nourriture est identique aux parties constituantes de ses organes, qui doivent être renouvelés.

La nutrition des herbivores se présente en apparence tout autrement ; leurs appareils digestifs sont moins simples, et leurs aliments consistent en matières végétales, qui ne renferment proportionnellement que très peu d'azote. Quelles sont donc, peut-on demander, les matières dont se forme ce sang des herbivores par lequel leurs organes se développent ? On peut répondre à cette question avec une certitude suffisante. Les recherches chimiques ont démontré que toutes les parties des végétaux qui servent de nourriture aux animaux renferment certains principes riches en azote, et les expériences les plus ordinaires constatent que les animaux exigent, pour leur entretien et pour leur nourriture, d'autant moins de ces parties végétales qu'elles [illegible] s riches en principes azotés, et qu'ils ne peu-

vent pas se nourrir avec des matières qui ne contiennent pas d'azote. On rencontre ces principes azotés en abondance surtout dans la graine des céréales, dans les pois, les lentilles, les fèves, dans les racines et dans le suc des plantes légumineuses. Du reste, il n'est aucune plante ni aucune de ses parties qui en soient entièrement dépourvues.

Ces aliments azotés peuvent se réduire à trois substances faciles à distinguer par leurs propriétés extérieures. Deux d'entre elles sont solubles dans l'eau; la troisième ne s'y dissout pas. Lorsqu'on abandonne à lui-même un suc végétal récemment exprimé, il s'y fait une séparation au bout de quelques minutes; il s'y dépose un précipité gélatineux, ordinairement de couleur verte, et qui, traité par des liquides qui dissolvent la matière colorante, laisse pour résidu une matière d'un blanc grisâtre. Cette substance est généralement connue des pharmaciens sous le nom de marc vert (*grünes satzmehl*). C'est là un des aliments azotés des herbivores; il a reçu le nom de *fibrine végétale*. Le suc des graminées est surtout riche de ce principe; il se trouve en très grande abondance dans la graine du blé et en général dans celle de toutes les céréales; et par une opération mécanique, on peut l'extraire assez pur de la farine de froment. Ainsi obtenu, on lui donne le nom de gluten; mais il est à remarquer que la viscosité qui le caractérise ne lui est point inhérente; elle résulte du faible mélange d'un corps étranger qui manque dans la graine des autres céréales.

La fibrine végétale est insoluble dans l'eau, ainsi que l'indique déjà le procédé par lequel on l'obtient:

cependant il est hors de doute qu'elle existait en dissolution dans le suc de la plante vivante, dont elle s'est séparée plus tard d'une manière analogue à celle dont la fibrine se sépare du sang. L'autre aliment azoté se trouve également en dissolution dans le suc des plantes; mais il ne s'en sépare pas à la température ordinaire, ce n'est que lorsque le suc est porté à l'ébullition. Lorsqu'on fait bouillir le suc exprimé et clarifié de légumes, tels, par exemple, que les choux-fleurs, les asperges, les choux-raves ou les navets, il s'y produit un coagulum qui, quant à ses caractères extérieurs et à ses propriétés, ne peut nullement être distingué du coagulum qu'on obtient, lorsqu'on soumet à la chaleur d'ébullition le sérum du sang ou le blanc d'œuf étendu d'eau. Ce coagulum des plantes est l'*albumine végétale*. Cette matière se rencontre en abondance surtout dans certaines semences, dans les noix, les amandes, et dans d'autres qui, au lieu de contenir l'amidon des graines des céréales, renferment à sa place de l'huile ou des matières grasses. Enfin le troisième élément azoté que les plantes produisent est la *caséine végétale*. Elle se rencontre particulièrement dans le péricarpe des pois, des fèves et des lentilles. Elle est soluble dans l'eau comme l'albumine végétale; toutefois elle se distingue de celle-ci en ce que sa dissolution n'est point coagulée par la chaleur. Pendant l'évaporation, ou quand on la réchauffe, elle se couvre d'une pellicule, et elle se coagule par l'addition des acides, ainsi que cela arrive pour le lait des animaux.

Ces trois substances, la fibrine, l'albumine et la caséine végétales sont les véritables aliments azotés des herbi-

vores. Quant à toutes les autres substances azotées qui se trouvent renfermées dans les plantes, ou bien elles ne sont pas mangées par les animaux: telles sont les matières vénéneuses ou médicamenteuses; ou bien elles se trouvent mêlées à leurs aliments dans des proportions si minimes, qu'elles ne sauraient contribuer au développement du corps. Les recherches chimiques qui ont été faites sur les trois substances que nous venons de citer ont conduit à ce résultat extrêmement important, qu'elles renferment les mêmes éléments organiques, dans le même rapport de poids; et ce qui est encore plus remarquable c'est qu'elles sont identiques, quant à leur composition, avec les principes essentiels du sang, de la fibrine et de l'albumine. Toutes les trois se dissolvent dans l'acide hydrochlorique concentré en donnant la même couleur bleue d'indigo; il est même impossible de distinguer, dans leurs propriétés physiques, l'albumine et la fibrine animales de l'albumine et de la fibrine végétales. Nous devons surtout faire remarquer qu'on entend ici par composition identique, non seulement la similitude de composition, mais encore l'identité de proportion en soufre, en chaux phosphatée et en phosphates alcalins.

Dans quelle admirable simplicité s'offrent à nous, d'après ces découvertes, l'acte du développement de l'organisme animal, la formation de ses organes, l'agent essentiel de l'activité vitale! Les substances végétales qui, dans l'économie animale, servent à la production du sang, renferment ainsi, tous formés d'après leurs éléments, les principes essentiels de ce même sang, la fibrine et l'albumine. Toutes les plantes renferment, en outre, une certaine quantité de fer qu'on

retrouve dans la partie colorante du sang. La fibrine des végétaux et celle des animaux, l'albumine végétale et l'albumine animale montrent à peine quelque différence dans leurs formes. Lorsque ces substances manquent dans les aliments, la nutrition de l'animal ne peut plus s'accomplir; lorsque, au contraire, elles s'y trouvent, l'herbivore reçoit des matières semblables à celles que les carnivores exigent pour leur entretien. Les plantes créent donc dans leur organisme le sang de tous les animaux; car, à proprement parler, les carnivores ne consomment dans le sang et dans la chair des herbivores que les substances végétales dont ceux-ci s'étaient nourris. La fibrine et l'albumine végétales prennent, dans l'estomac de l'herbivore, absolument la même forme que reçoivent, dans l'estomac du carnivore, la fibrine et l'albumine animales.

Il résulte de ce qui précède que le développement des organes d'un animal, que son accroissement et l'augmentation de sa masse dépendent de l'admission de certaines substances qui sont identiques avec les principes essentiels du sang. On peut dire, sous ce point de vue, que l'économie animale ne crée son propre sang que sous le rapport de la forme; qu'elle est privée de la faculté de le produire avec des matières qui ne sont pas identiques avec les principes essentiels de ce sang. Cependant on ne peut pas conclure de là que l'organisme animal soit privé de la faculté de produire d'autres combinaisons; nous savons, au contraire, qu'il détermine la formation d'une grande série d'autres produits qui diffèrent, par leur composition, des principes du sang, quoiqu'il ne puisse former de lui-même

le point de départ de cette série, c'est-à-dire les principes essentiels de ce même sang. On peut considérer l'organisme animal comme une plante d'un ordre supérieur, dont le développement commence avec les matières dans la production desquelles s'éteint la vie d'une plante ordinaire ; car, dès que celle-ci a porté sa graine, elle meurt, ou du moins elle a achevé une des périodes de la vie. Nous ne trouvons aucune lacune, aucune interruption dans cette série sans fin, qui commence par les principes nutritifs des plantes, c'est-à-dire avec l'acide carbonique, l'ammoniaque et l'eau, et qui l'élève dans le corps animal jusqu'aux principes les plus complexes du cerveau. La première substance alimentaire de l'animal est le dernier produit de l'activité créatrice des plantes. La substance des tissus cellulaires, celle des membranes, des nerfs et du cerveau ne sont pas des produits de la plante. Toutefois l'activité créatrice de la plante perd de son merveilleux dans la production des principes du sang, quand on considère que cette production ne doit pas nous paraître plus étonnante que celle de certains arbres sur lesquels on voit croître la graisse de bœuf ou celle du mouton (comme dans la semence de cacao), la graisse humaine (comme dans l'huile d'olive), les principes essentiels du beurre de vache (comme dans le beurre de palme), enfin si l'on considère que la graisse de cheval et l'huile de poisson se trouvent dans certaines graines oléagineuses.

VINGTIÈME LETTRE.

Développement de l'organisme animal. — Destination du beurre et du lait. — Métamorphoses des substances formées. — Nourriture des carnivores. — Nourriture du cheval.

Les faits que je vous ai exposés dans ma dernière lettre vous auront donné, du moins je l'espère, quelques éclaircissements satisfaisants sur la manière dont l'accroissement des organes s'effectue chez les animaux; il me reste maintenant encore à vous entretenir du rôle que les substances non azotées, c'est-à-dire le sucre, l'amidon, la gomme, la pectine, etc., jouent dans l'organisme animal.

La classe la plus nombreuse des animaux ne peut pas vivre sans ces substances; ses aliments doivent en

renfermer une certaine quantité, et quand celle-ci manque, nous voyons que les fonctions vitales de ces animaux s'arrêtent promptement. Cette question importante s'étend aussi aux parties constitutives de l'aliment dont se nourrit le carnivore dans la première période de son existence; car cet aliment contient aussi lui-même certains principes dont l'organisme n'a plus besoin pour sa conservation, une fois qu'il a atteint sa croissance. Il est évident que, dans le corps des jeunes carnivores, la nutrition s'effectue d'une manière analogue à celle des herbivores; leur développement est soumis à l'intussusception d'un liquide que le corps de la mère sécrète sous forme de lait. Le lait ne renferme qu'un seul principe azoté: c'est la matière caséeuse ou la *caséine*. Outre celle-ci, il contient principalement du beurre (matière grasse) et du sucre de lait. C'est de la partie constituante azotée du lait que doivent se former le sang du jeune animal, ses muscles, la substance de ses cellules, celle de ses nerfs et de ses os; car ni le beurre ni le sucre de lait ne renferment de l'azote. L'analyse chimique de la caséine a conduit à ce résultat, qui, d'après ce qui précède, doit maintenant à peine nous surprendre: que cette substance est encore d'une composition identique avec celle des principes essentiels du sang, c'est-à-dire avec celle de la fibrine et de l'albumine; et ce qui est plus remarquable encore, la comparaison de ses propriétés avec celles de la *caséine des plantes* a fait voir que la caséine animale est également identique, dans toutes ses propriétés, avec la caséine végétale; c'est au point que certaines plantes, telles que les pois, les

lentilles, sont capables d'engendrer la même substance qui naît du sang de la mère, et qui est employée à la formation du sang dans le corps du jeune animal. Par la caséine (qui se distingue de la fibrine et de l'albumine par sa grande solubilité, et par son incoagulabilité sous l'influence de la chaleur), le jeune animal reçoit donc, dans ses principes essentiels, le sang de sa mère. Pour la transformation de la caséine en sang, il n'est pas nécessaire qu'il y ait intervention d'une troisième substance; aucun principe du sang de la mère ne s'en sépare lorsque ce sang se convertit en caséine. La caséine du lait renferme, à l'état de combinaison chimique, une quantité beaucoup plus considérable de substance osseuse que le sang lui-même, et cette substance osseuse s'y trouve dans un état extrêmement soluble; de sorte qu'elle peut être aisément transportée dans toutes les parties du corps. Dans la première période de la vie du jeune animal, la formation et le développement de l'activité vitale se trouvent donc liés à l'admission d'une matière qui, sous le rapport de ses principes organiques, est identique avec la composition des principes essentiels de son sang.

Mais quelles sont alors les fonctions de la matière grasse du beurre et celles du sucre du lait? Quelle est la raison pour laquelle ces substances sont indispensables à la vie des animaux? Ni le beurre ni le sucre ne renferment de bases fixes; ils ne contiennent ni chaux, ni soude, ni potasse. Le sucre de lait possède une composition analogue à celle des sucres ordinaires, à celle de l'amidon, de la gomme et de la pectine; ainsi que ces matières, il est formé de carbone et des éléments

de l'eau ; et ces derniers y sont exactement dans les proportions qui forment l'eau. Ces matières non azotées ajoutent donc aux principes azotés une certaine quantité de carbone ; ou, comme dans le beurre, une certaine quantité de carbone et d'hydrogène. Il y a là, par conséquent, un excès d'éléments qui ne peuvent absolument pas servir à la sanguification, puisque les aliments azotés renferment déjà exactement les quantités de carbone nécessaires à la formation de la fibrine et de l'albumine. C'est un fait incontestable que, dans un carnivore adulte, qui d'un jour à l'autre n'augmente ni ne diminue de poids d'une manière notable, l'assimilation des aliments, les mutations de tissus, et la consommation de l'oxigène, doivent être entre elles dans un rapport bien défini. Le carbone de l'acide carbonique exhalé, celui de l'urine, l'azote de l'urine et l'hydrogène rejeté à l'état d'ammoniaque et d'eau, tous ces éléments pris ensemble doivent être parfaitement égaux, en poids, au carbone, à l'hydrogène et à l'azote des tissus métamorphosés ; et ces tissus, qui ont été exactement remplacés par les aliments, doivent, à leur tour, peser autant que le carbone, l'azote et l'hydrogène des substances alimentaires. S'il n'en était ainsi, le poids de l'animal ne pourrait pas rester le même.

Cependant le poids du jeune carnivore qui se développe ne demeure pas constant ; il augmente, au contraire, de jour en jour d'une quantité qui peut être déterminée. Ce fait suppose que le travail de l'assimilation, chez le jeune animal, est plus énergique et plus intense que celui par lequel les tissus déjà forr

nouvellent. Si ces deux fonctions étaient d'une égale intensité, il n'y aurait pas augmentation de poids; il devrait même y avoir diminution, si la déperdition l'emportait sur l'assimilation. Le jeune animal reçoit les principes de son sang du caseum du lait; il s'opère chez lui une transformation des tissus déjà formés, car il y a sécrétion de bile et d'urine; c'est sous forme d'urée, d'acide carbonique et d'eau que sont évacuées de son corps les substances des tissus transformés; mais le beurre et le sucre du lait qu'il consomme disparaissent également, et on ne peut les retrouver dans les fèces. Le beurre et le sucre de lait sont rejetés à l'état d'eau et d'acide carbonique, et leur transformation en combinaisons oxigénées prouve de la manière la plus évidente que l'animal absorbe bien plus d'oxigène qu'il n'en faudrait pour former de l'acide carbonique et de l'eau avec le carbone et l'hydrogène des tissus renouvelés. Les transformations, les métamorphoses des tissus formés qui s'accomplissent dans les fonctions vitales d'un jeune animal, fournissent donc, dans un temps donné, bien moins de carbone et d'hydrogène, sous forme de produits respiratoires, qu'il n'en correspond à la quantité d'oxigène absorbée; la substance des organes elle-même subirait un changement plus rapide de matière, ou bien elle succomberait à l'action de l'oxigène, si ce qui manque de carbone et d'hydrogène n'était pas offert par une autre source. L'accroissement progressif du jeune animal, le développement libre et non interrompu de ses organes, dépendent donc de la présence de matières étrangères qui, dans la nutrition, ne jouent pas d'autre rôle que celui

de préserver de l'action de l'oxigène les nouveaux organes qui se forment, car ce sont les parties constituantes de ces matières qui se combinent avec l'oxigène. Les organes ne pourraient se charger eux-mêmes de cette résistance sans y succomber, c'est-à-dire qu'un accroissement en masse par une consommation correspondante d'oxigène serait absolument impossible. D'après ce qui précède, on ne peut maintenant mettre en doute le but que la nature s'est proposé en ajoutant à la nourriture des jeunes mammifères des matières non azotées que eur organisme ne peut pas employer à la nutrition proprement dite, ni à la sanguification; matières qui ne sont plus nécessaires à l'entretien des fonctions de la vie chez l'animal adulte.

L'acte de la nutrition se présente donc, chez les carnivores, sous deux formes, dont nous voyons l'une revenir chez les herbivores et les granivores. Nous observons pour cette dernière classe d'animaux que leur existence est liée, pendant toute la durée de la vie, à l'admission de matières qui ont une composition identique, ou du moins semblable à celle du sucre du lait. Dans toutes les substances dont ils se nourrissent se trouve toujours mêlée une certaine quantité d'amidon (fécule), de gomme, de sucre, ou de pectine. Le rôle que ces substances non azotées remplissent dans la nutrition des herbivores, se présente d'une manière claire et convaincante, si nous considérons que la quantité de carbone qui est consommée par les animaux dans leurs aliments azotés est dans des proportions très faibles, et ne se trouve nullement en rapport avec la consommation de l'oxigène absorbé par les poumons et par la

peau. Un cheval, par exemple, peut se conserver dans un état de parfaite santé, si on lui donne par jour pour sa nourriture 15 livres de foin et 4 1/2 livres d'avoine. Si nous nous représentons maintenant que tout l'azote de ces aliments, tel que l'analyse chimique l'a déterminé (l'azote de foin étant porté à 1,5, et celui de l'avoine à 1,2 p. cent), soit transformé en sang, c'est-à-dire en fibrine et en albumine, et si nous admettons pour le sang 80 pour cent d'eau, il en résulte que le cheval ne reçoit par jour que 140 grammes d'azote, lesquels correspondent à un peu plus de 8 livres de sang : cependant le poids du carbone consommé en même temps que cet azote par l'animal, ne s'élève qu'à 44,8 grammes.

Sans faire d'autre calcul, tout le monde accordera que le volume d'air que le cheval inspire et exhale, que la quantité d'oxigène qu'il a consommée, et, par suite, que la quantité de carbone qu'il a rejetée, sont beaucoup plus considérables que les quantités de ces mêmes corps qui sont consommées ou exhalées dans l'acte de la respiration de l'homme. Cependant un homme adulte consomme par jour environ 444 grammes de carbone; tandis que, d'après les expériences de M. Boussingault, un cheval en exhale, dans le même temps, 2450 grammes. Cette évaluation ne peut pas être beaucoup éloignée de la vérité. Par les principes azotés de ses aliments, le cheval ne reçoit donc qu'un peu plus du cinquième du carbone dont son organisme a besoin pour l'entretien de sa respiration; et, quant aux autres quatre cinquièmes de ce même carbone qui manquent dans ces principes azotés, nous voyons que la sagesse du Créateur les

a ajoutés sous les formes les plus variées en amidon, en sucre, etc., à tous les aliments, sans exception, de l'animal, qui ne pourrait en être privé sans succomber à l'action de l'oxigène.

Il est évident que, dans l'organisme des herbivores, dont les aliments renferment une quantité faible, à proportion, de principes sanguifiables, la transformation des tissus formés, et par conséquent leur renouvellement ou leur reproduction, s'effectuent d'une manière beaucoup moins rapide que ches les carnivores; or si cette fonction s'accomplissait chez les herbivores avec autant de rapidité que chez les derniers, une végétation mille fois plus riche ne suffirait pas à leur nutrition; alors, le sucre, la gomme, l'amidon, ne seraient plus nécessaires à l'entretien de leurs fonctions vitales; parce qu'alors les produits carbonés, résultant de la transformation de leurs organes, suffiraient à l'acte de la respiration.

VINGT ET UNIÈME LETTRE.

Application à l'homme des principes qui précèdent. — Classification des aliments humains. — Emploi de la gélatine.

Permettez-moi aujourd'hui d'appliquer à notre espèce les principes qui ont été exposés dans mes deux dernières lettres.

L'homme carnivore exige pour sa conservation et pour son alimentation un terrain immense, bien plus étendu, bien plus vaste que celui qu'il faut au lion ou au tigre, par la raison que l'homme tue lorsque l'occasion s'en présente, sans en retirer toujours du profit. Une nation de chasseurs qui se trouve confinée dans un espace limité est incapable de se multiplier ; car le charbon qui est nécessaire à sa respiration, il doit l'emprunte

chair des animaux, et ceux-ci ne peuvent vivre qu'en petit nombre sur le même terrain. Ces animaux puisent dans les plantes les parties constituantes de leurs organes et de leur sang, et ils les fournissent aux Indiens chasseurs, qui les consomment sans consommer en même temps les substances non azotées qui entretenaient la respiration de ces animaux pendant qu'ils vivaient. Chez l'homme carnivore, c'est le carbone de la chair qui doit remplacer le carbone de l'amidon et du sucre. Cependant quinze livres de chair ne renferment pas plus de carbone que quatre livres d'amidon; et tandis que l'Indien, en consommant un seul animal et un poids égal de fécule, pourrait conserver sa vie et sa santé durant plusieurs jours, il lui faudra consommer cinq animaux pour se procurer le carbone qui est indispensable à sa respiration pendant ce même temps.

On conçoit aisément quelle liaison intime il y a entre l'agriculture et la multiplication de la race humaine. En effet, l'agriculture n'a d'autre but que d'obtenir dans le plus petit espace possible la plus grande production possible de substances propres à l'assimilation et à la respiration. Les céréales et les légumes nous fournissent, dans l'amidon, dans le sucre et dans la gomme, non seulement le carbone qui préserve nos organes de l'action de l'oxigène qui produit dans l'organisme la chaleur indispensable à la vie; mais ces végétaux nous fournissent encore, dans la fibrine, dans l'albumine et dans la caséine, notre sang, duquel dérivent toutes les autr[illegible]ies de notre corps. L'homme carnivo[illegible] anim[illegible] rnivore, aux dépens des [illegible] la transformation

de ses organes ; et de même que, dans les cages de nos ménageries, le lion, le tigre, l'hyène, doivent accélérer la transformation de leurs tissus par un mouvement continuel, afin de produire la matière indispensable à la respiration, de même aussi, et pour le même motif, l'Indien sauvage est obligé de se soumettre aux plus grands efforts et aux fatigues les plus pénibles ; il lui faut dépenser de la force uniquement pour produire la substance nécessaire à sa respiration. La civilisation est l'économie de la force. La science nous apprend à connaître quels sont les moyens les plus simples pour obtenir, avec la moindre dépense de force, le maximum d'effet, et elle nous enseigne à utiliser les moyens de manière à en obtenir le maximum de force. Tout emploi inutile de la force, tout excès de dépense que l'on en fait dans l'agriculture, dans l'industrie, dans la science, de même que dans l'économie politique, est le signe d'une condition encore sauvage ou d'un manque de civilisation.

Il résulte de ce qui précède que les substances alimentaires de l'homme peuvent être divisées en deux classes : en aliments azotés et en aliments non azotés. Ceux de la première classe ont la propriété de se convertir en sang; ceux de la seconde n'ont pas cette propriété. Les substances alimentaires qui sont propres à la sanguification donnent naissance aux parties constitutives des organes; les autres servent, dans l'état normal, à l'entretien de la respiration, c'est-à-dire à la production de la chaleur animale. Nous désignons les substances azotées sous le nom d'aliments plastiques, et les substances non azotées sous celui d'aliments respiratoires.

Les *aliments plastiques* sont :

La fibrine végétale,
L'albumine végétale,
La caséine végétale,
La chair,
Le sang des animaux.

Les *aliments respiratoires* sont :

La graisse,
L'amidon,
La gomme,
Les diverses espèces de sucre,
La pectine,
La bassorine,
Le vin,
La bière,
L'eau-de-vie.

Les recherches auxquelles on s'est livré ont démontré comme un fait général auquel on n'a pu jusqu'ici opposer aucune expérience qui le contredise, que tous les principes azotés des plantes ont la même composition que les principes essentiels du sang. Aucun corps azoté dont la composition diffère de celle de la fibrine, de l'albumine et de la caséine, n'est propre à entretenir la vie de l'animal. L'économie animale est incontestablement douée de la puissance de préparer, avec les parties constituantes de son sang, la substance des membranes, celle des cellules, celle des nerfs et du cerveau, les principes organiques des côtes, des cartilages et des os; mais il faut que la substance du sang,

jusqu'à ce qu'elle prenne une forme, soit offerte elle-même toute formée à l'animal; et dans le cas où il n'en est pas ainsi, il y a limite à la sanguification et à la vie. La grande discussion qui a eu lieu pendant plusieurs années devant l'Académie des sciences de Paris au sujet des propriétés nutritives de la gélatine animale (des soupes obtenues au moyen des os), peut être décidée maintenant d'une manière bien simple. On s'explique aujourd'hui fort bien pourquoi les tissus gélatineux, la gélatine des os et des membranes, sont impropres à la nutrition des animaux et à l'entretien de leurs fonctions vitales: c'est que leur composition diffère de celle de la fibrine et de l'albumine du sang. Cela ne signifie évidemment pas autre chose, sinon que les organes de l'animal qui opèrent la formation du sang ne possèdent pas la faculté de produire une métamorphose dans l'arrangement des éléments de la gélatine (c'est-à-dire des tissus gélatineux et chondrineux). Et en effet, l'organisme animal n'est pas doué de la faculté de décomposer la gélatine, et de faire que certains principes s'en séparent, de manière à pouvoir redevenir de l'albumine et de la fibrine; car, dans le cas où l'organisme serait doué de cette faculté, on ne saurait concevoir comment il se fait que, dans le corps de celui qui succombe à l'inanition, toutes les cellules, les tendons et les membranes de ce corps persistent dans leurs formes et dans leurs propriétés, tandis que toutes les parties capables de se dissoudre disparaissent. Tous les membres d'un cadavre conservent la cohérence qu'ils doivent aux tissus gélatineux.

D'un autre côté, nous voyons qu'un chien qui a avalé

des os n'en rejette que la partie calcaire, tandis que la gélatine a disparu complétement dans son corps ; la même chose s'observe chez les individus qui prennent pour leur nourriture, comparativement plus de gélatine (dans le bouillon de viande) que d'autres substances; cette gélatine n'est évacuée chez eux ni par les urines ni par les fèces; elle a éprouvé évidemment une transformation dans l'organisme, et elle y a rempli un certain but. Il est difficile, sans en avoir fait les expériences, de se faire une idée de la résistance que la gélatine oppose à la décomposition par l'influence des agents les plus puissants; toutefois, rien ne peut être plus certain qu'elle est rejetée par l'économie, sous une forme autre que celle sous laquelle elle y a été introduite.

Quant à la transformation de l'albumine du sang en portions d'organe renfermant de la fibrine, on ne rencontre en cela aucune contradiction, en raison de l'identité de composition de ces deux substances. Nous trouvons au contraire compréhensible, et expliqué sous le rapport chimique, qu'une substance soluble et dissoute, par exemple, l'albumine, se convertisse en un agent insoluble de l'activité vitale, en fibrine, en muscle, par la raison précisément que leur composition est identique; et dès lors on ne doit pas rejeter comme inadmissible l'opinion qui regarderait la gélatine ingérée à l'état de dissolution dans l'organisme, comme redevenant cellule, membrane, ou partie constituante des os, comme pouvant servir à renouveler et à accroître la masse des tissus gélatineux qui ont éprouvé quelque altération. Si la force de reprod

varie dans toute l'économie suivant l'état sanitaire du corps, il est évident que, même dans le cas où la faculté de la sanguification ne serait pas modifiée, la force organique qui détermine la transformation des principes du sang en membranes et en cellules doit nécessairement se trouver affaiblie dans l'état de maladie. L'intensité de la force vitale, la faculté qu'elle a de provoquer, en général, des métamorphoses, diminue, chez le malade, autant pour son estomac que pour les autres parties de son corps. La médecine pratique constate alors que l'ingestion des tissus gélatineux, rendus solubles, exerce une influence bien marquée sur l'état du corps malade; lorsqu'ils lui sont offerts sous une forme propre à l'assimilation (comme sous forme de bouillons de viande, d'os, etc.), ils servent à économiser en eux de la force, comme cela arrive de toute nourriture convenablement préparée pour l'estomac. La fragilité des os qu'on observe chez les herbivores résulte évidemment d'une débilité dans les parties de l'organisme qui sont destinées à effectuer les métamorphoses des principes du sang en substances cellulaires; et si les récits des médecins qui ont habité l'Orient méritent confiance, les femmes turques qui se nourrissent de riz, et qui prennent de fréquents lavements de bouillons, réuniraient ainsi toutes les conditions nécessaires pour qu'il y eût formation chez elles de substance cellulaire et de graisse.

VINGT-DEUXIÈME LETTRE.

Circulation de la matière dans le règne animal et dans le règne végétal. — L'océan. — L'agriculture. — Rétablissement de l'équilibre dans le sol. — Causes de l'épuisement des terres. — Virginie. — Angleterre. — Compensation qu'on y a obtenue par l'introduction des os. — Insuffisance de l'économie rurale empirique. — Nécessité des principes scientifiques. — Influence de l'atmosphère. — Parties constituantes salines et terreuses du sol.

Personne n'ignore que dans l'espace limité, et pourtant immense, qui est occupé par la mer, il existe tout un monde de plantes et d'animaux qui se succèdent les uns aux autres; qu'une génération de ces animaux reçoit tous ses éléments des végétaux, tandis que les principes de leurs organes repre   ès

la mort de l'animal, la forme primitive sous laquelle doit s'alimenter une nouvelle génération de ces végétaux.

L'oxigène que les animaux qui vivent dans la mer absorbent en respirant l'air dissous dans l'eau, qui est riche en oxigène (il en contient de 32 à 33 pour cent en volume, tandis que l'air atmosphérique n'en renferme que 21 pour cent), est restitué à l'eau par les fonctions vitales des plantes marines. Cet oxigène s'unit aux produits de la putréfaction des cadavres des animaux; il convertit leur carbone en acide carbonique, leur hydrogène en eau, tandis que leur azote reprend la forme de l'ammoniaque.

Nous observons que, dans la mer, sans qu'aucun élément s'y ajoute, ou s'en sépare, il se fait une circulation perpétuelle qui n'a point de bornes dans la durée, mais qui en a dans son circuit, et qu'elle se fait par l'alimentation des plantes qui se trouvent renfermées en quantités infinies dans cet espace limité.

Nous savons qu'il ne peut être question, pour les plantes de la mer, d'un transfert de nourriture venant de l'humus et passant par les racines. Quelle nourriture peut puiser, en effet, la racine, grosse comme le poing, du varech géant, croissant sur un roc nu, dont la surface ne laisse pas apercevoir le moindre changement? Or, cette plante atteint une hauteur de 360 pieds (Cook), et un seul individu nourrit, avec ses feuilles et ses rameaux, plusieurs milliers d'animaux marins. Ces sortes de plantes n'ont évidemment besoin que d'être fixées, que d'avoir un point d'appui qui empêche leur translation; ou bien elles n'ont besoin que d'un

contre-poids par lequel leur faible pesanteur spécifique se trouve compensée ; elles vivent dans un milieu qui leur amène la nourriture nécessaire à chacune de leurs parties ; car l'eau de mer ne contient pas seulement de l'acide carbonique et de l'ammoniaque, elle contient aussi les phosphates et les carbonates alcalins, ainsi que les sels terreux qu'il faut à la plante marine pour se développer, et que nous retrouvons dans ses cendres, comme parties constituantes qui n'y manquent jamais. Toutes les expériences font reconnaître que les conditions qui garantissent l'existence et la durée des plantes marines sont les mêmes que celles qui conviennent à la vie des plantes terrestres.

Cependant la plante terrestre ne vit pas, comme la plante marine, dans un milieu qui contienne tous les éléments dont elle a besoin, et qui vienne entourer chaque partie de ses organes ; mais elle a deux milieux, dont l'un (*la terre*) renferme les principes qui manquent dans l'autre (*l'atmosphère*).

Comment se fait-il, peut-on se demander, que l'on n'ait jamais mis en doute la part que le sol, c'est-à-dire que les principes du sol prennent au développement des végétaux ; qu'il y ait eu une époque où l'on n'ait pas regardé comme essentiels et nécessaires à la plante les principes minéraux qu'elle renferme ? On observe encore à la surface terrestre le même mouvement de circulation, un changement continuel, un dérangement et un rétablissement perpétuels d'équilibre. Les expériences en agriculture démontrent que l'augmentation des matières dans les plantes, sur une surface donnée, est en proportion de l'apport de ce

stances dont les éléments tirent leur origine de la superficie même du sol où ils ont été puisés par les plantes elles-mêmes. En effet, les excréments des hommes et ceux des animaux proviennent des plantes; ils représentent précisément les matières qui reçoivent de nouveau dans l'acte de la vie des animaux, ou après leur mort, la forme qu'elles ont possédée comme parties constituantes du sol. Nous savons que l'atmosphère ne renferme aucune de ces matières et qu'elle n'en remplace aucune; nous voyons que si on les soustrait à une terre en culture, il s'ensuit une inégalité de production, un défaut de fertilité; et qu'enfin, en y ramenant ces substances, nous obtenons la fécondité et nous pouvons même l'augmenter.

Avec des preuves si nombreuses et si frappantes, peut-on conserver encore le moindre doute sur l'origine des parties constitutives des animaux et des plantes, sur les avantages des alcalis, des phosphates, de la chaux, ou sur les principes sur lesquels s'appuie l'agriculture rationnelle ?

Or, est-ce que l'art agricole peut reposer sur d'autres bases que sur le rétablissement de l'équilibre dérangé? Est-il possible d'imaginer qu'un pays riche et fertile, avec un commerce florissant, qui exporte depuis des siècles les produits de son sol sous forme de bestiaux et de blé, puisse conserver sa fertilité, si ce même commerce ne peut lui restituer, sous forme de fumier, les parties constituantes de ses terres labourables qui ont été épuisées et que l'atmosphère ne peut pas leur rendre? Ne serait-il pas de tout pays ce qu'il en a été de la Virginie, jadis si riche et si fertile, et où

l'on ne peut plus cultiver aujourd'hui ni froment ni tabac ?

Dans les grandes villes d'Angleterre on consomme non seulement les produits de l'agriculture anglaise, mais encore ceux d'autres contrées; cependant les principes du sol qui sont indispensables aux plantes qui couvrent une surface immense, ne sont pas restitués aux terres cultivées. Des dispositions qui tiennent aux mœurs et aux habitudes du peuple, et qui sont particulières à ce pays, rendent difficile et peut-être impossible le soin de recueillir l'immense quantité des phosphates (qui sont les substances minérales les plus importantes, quoique en petites quantités dans le sol) que l'on fait perdre chaque jour dans les rivières, sous forme d'excréments fluides ou solides. Eh bien, nous avons été témoin de ce fait remarquable, que, par l'importation des os (de phosphate de chaux) recueillis sur le continent, les terres labourables d'Angleterre, épuisées de tous leurs phosphates, ont, par cette consommation, doublé leur revenu comme par magie! Toutefois l'exportation de ces os, si elle devait continuer dans la même proportion, devrait finir par épuiser peu à peu le sol de l'Allemagne; la perte est d'autant plus importante que dans une seule livre d'os, il y a autant d'acide phosphorique que dans un quintal de blé.

Une connaissance imparfaite de la nature et des propriétés de la matière, a donné naissance, durant la période des alchimistes, à cette opinion que les métaux tels que l'or se développaient d'une semence. On voyait alors, dans les cristaux et dans leurs ramifications, les feuilles et les branches de la plante mét[illegible] [illegible]ous

les efforts se dirigeaient vers les moyens de trouver et les semences des métaux et la terre propre à leur développement. Sans rien fournir, en apparence, aux semences ordinaires des plantes, on y voyait se développer une tige, un tronc, qui portaient des fleurs, lesquelles donnaient, à leur tour, d'autres semences; si donc on eût pu se procurer aussi de la graine de divers métaux, n'y avait-il pas espoir de faire des récoltes semblables?

De pareilles idées n'ont pu surgir et se propager que dans un temps où l'on ne savait encore rien sur l'atmosphère, où l'on n'avait pas même un pressentiment sur la part que la terre et l'air prennent aux fonctions de la vie dans les plantes et les animaux. La chimie de notre époque remonte aux éléments de l'eau; au moyen de ces éléments, elle recompose l'eau avec toutes ses propriétés; toutefois, elle ne peut créer ces éléments, elle ne peut les tirer que de l'eau elle-même; et l'eau qui a été produite artificiellement était auparavant de l'eau. Beaucoup de nos agronomes ressemblent aux anciens alchimistes; de même que ceux-ci cherchaient la pierre philosophale, ils cherchent, eux, la graine miraculeuse qui pourra se multiplier au centuple, sans que le sol ait besoin d'être alimenté, ce même sol qui déjà est à peine assez fertile pour les plantes indigènes!

Des expériences qui se renouvellent depuis des siècles, et même depuis des dizaines de siècles, ne sont pas capables de tirer ces agronomes de leurs illusions qui se renouvellent de jour en jour; la puissance capable de résister à de pareilles superstitions ne peut venir que de la connaissance des véritables principes de la science.

Dans les premiers temps de la philosophie de la nature, on attribua seulement à l'eau le développement des corps organiques ; ensuite on l'attribua à l'eau et à certaines parties constituantes de l'air ; aujourd'hui nous savons qu'il faut encore d'autres conditions que le sol doit remplir pour que la plante acquière la faculté de se multiplier.

La quantité de matières propres à servir d'aliments aux plantes, et qui sont contenues dans l'atmosphère, est limitée ; néanmoins elle doit être tout-à-fait suffisante pour couvrir toute l'écorce du globe d'une riche végétation.

Remarquons que dans les régions tropicales, ainsi que dans toutes les contrées de la terre où les conditions générales de la fertilité, telles que l'humidité, un sol convenable, l'air et une température élevée, se trouvent réunies ; que dans ces contrées, disons-nous, la végétation est à peine bornée par l'espace ; que là où le sol fait défaut pour fixer la plante, c'est la plante elle-même en mourant, ce sont ses branches et son écorce, qui servent de sol. Il est évident que les plantes de ces régions ne sont pas privées de l'aliment que doit leur fournir l'atmosphère ; cet aliment ne manque pas non plus à nos plantes cultivées. C'est que, indispensable à leur développement, il se trouve partout en égale quantité dans l'atmosphère, et que celle-ci, dans son agitation continuelle, l'amène à chaque plante ; l'air des tropiques n'en renferme pas plus que celui des zones froides ; et néanmoins quelles différences dans la puissance de production, pour des surfaces égales de terrains, n'offrent pas ces différentes régions

Toutes les plantes des régions tropicales, telles que le palmier oléifère, le palmier cirier, la canne à sucre, ne renferment qu'en petites quantités, comparativement à nos plantes cultivées, les principes propres à la formation du sang, qui sont indispensables à la nutrition des animaux. Tous les tubercules de pomme de terre (dont une seule plante, dans le Chili, atteint les dimensions d'un arbrisseau) qu'on pourrait recueillir sur toute l'étendue d'un arpent de terrain (*morgen* — 82 ares), suffiraient à peine pour faire vivre une famille irlandaise pendant un seul jour (Darwin). Les plantes alimentaires qui sont l'objet de la culture ne sont que des moyens de produire les principes du sang. En l'absence des éléments que le sol devrait fournir pour les former, il est possible qu'il se produise de l'amidon, du sucre, du bois; mais il n'y aura jamais formation des principes du sang. Lorsque nous nous proposons d'en produire, sur une surface donnée, plus que les plantes de cette surface vivant à l'état libre, sauvage et normal, n'en peuvent puiser dans l'atmosphère ou dans le sol, il nous faut leur créer une atmosphère artificielle; il faut que nous apportions dans le sol les parties constituantes qui lui manquent.

L'alimentation que nous devons fournir aux divers végétaux, dans un temps donné, pour leur permettre de se développer librement et d'une manière complète, est très inégale.

Il n'y a qu'un très petit nombre d'espèces de plantes, qui ne sont pour la plupart que des plantes vivaces, qui puissent réussir dans un sable aride, dans un terrain tout calcaire, ou sur des rochers entièrement

dénudés. Ces sortes de plantes n'exigent, pour leur végétation lente, que très peu de substances minérales, que le terrain sur lequel elles végètent et qui serait stérile pour d'autres espèces peut encore leur offrir en quantité suffisante. Les plantes annuelles, et particulièrement celles qui ne vivent que pendant l'été, se développent et arrivent à un accroissement complet dans un intervalle proportionnellement moins long; elles ne réussissent pas dans un sol pauvre en substances minérales nécessaires à leur développement; pour qu'elles atteignent un maximum d'accroissement dans la courte période de leur existence, les aliments que leur apporte l'atmosphère ne leur suffisent pas. Il faut, pour atteindre le but de la culture des plantes annuelles, créer, dans le sol même, une atmosphère artificielle d'acide carbonique et d'ammoniaque; et ce surplus d'aliments, que les feuilles ne peuvent puiser dans l'air, il faut qu'il soit apporté aux organes qui leur correspondent et qui se trouvent dans le sol. Toutefois l'ammoniaque et l'acide carbonique seuls ne suffisent pas pour former une partie constitutive de la plante, pas plus qu'elles ne suffisent pour constituer un aliment pour l'animal; sans les alcalis, il ne peut pas se produire d'albumine, de même que sans acide phosphorique, ou sans sels terreux, il ne peut se former ni fibrine ni caséine végétales. L'acide phosphorique du phosphate de chaux, que nous voyons se sécréter en si grande quantité dans les écorces des plantes ligneuses, est indispensable, comme nous le savons au développement de la graine de nos céréales de nos légumes.

Quelle différence n'y a-t-il pas entre les plantes estivales et les plantes toujours vertes, les plantes grasses, les mousses, les arbres à feuilles aciculaires et les fougères! En été comme en hiver, celles-ci reçoivent, à chaque instant du jour, du carbone par leurs feuilles, au moyen de l'absorption qu'elles font de l'acide carbonique qu'un sol aride ne peut leur fournir. Leurs feuilles, coriaces ou charnues, retiennent avec beaucoup de force l'eau absorbée, et, comparativement aux autres végétaux, elles n'en perdent que fort peu par la transpiration.

Enfin, combien est faible la proportion des substances minérales que ces plantes vivaces enlèvent au sol pendant une végétation presque continuelle, et pendant toute l'année, en comparaison de la quantité de ces mêmes substances qu'une récolte de froment de même poids, par exemple, en prend au sol dans l espace de trois mois!

Pendant l'été, lorsque l'humidité, au moyen de laquelle la plante reçoit du sol les alcalis et les sels nécessaires, vient à manquer, nous observons un phénomène qui paraissait tout-à-fait inexplicable lorsque l'on ignorait encore l'importance du rôle que jouent, dans la végétation, les substances nutritives d'origine minérale. Nous remarquons, en effet, que les feuilles placées près du sol, qui se sont développées les premières et d'une manière complète, perdent leur vitalité sans qu'aucune cause nuisible agisse visiblement sur elles; elles se crispent, elles jaunissent et tombent. Ce phénomène ne se montre pas dans les années humides; on ne l'observe pas non plus dans les végétaux toujours

verts, et on ne le voit que dans quelques cas rares, chez les plantes qui poussent des racines longues et profondes; il ne se manifeste enfin qu'en automne et en hiver, dans les végétaux vivaces.

La cause de ce dépérissement est maintenant facile à concevoir pour tout le monde. Les feuilles qui sont déjà complétement développées fixent sans cesse de l'acide carbonique et de l'ammoniaque qu'elles puisent dans l'air, et qui se transforment en principes propres aux nouvelles feuilles, aux bourgeons, aux jeunes pousses. Mais cette transformation ne saurait avoir lieu sans le concours des alcalis et des autres parties constituantes de nature minérale. Tant que le sol est humide, celles-ci sont continuellement charriées, et la plante conserve alors sa couleur vivante et verte; mais lorsque cet approvisionnement vient à manquer par suite d'un temps sec, il s'opère alors un partage dans la plante même. Les parties constituantes de nature minérale qui se trouvent dans la sève des feuilles déjà développées, leur sont alors enlevées pour être employées à l'accroissement des jeunes pousses; et lorsqu'arrive le développement de la graine, ces feuilles meurent complétement. Les feuilles fanées ne renferment que des traces de sels solubles, tandis que les bourgeons et les jeunes pousses en sont très riches.

D'un autre côté, nous remarquons que dans un terrain trop riche en sels, où il y a surabondance de substances minérales solubles, beaucoup de plantes, et particulièrement les plantes potagères, sécrètent par la surface de leurs feuilles des sels qui recouvrent celles-ci d'une croûte blanche et feutrée. Il résulte de ces exsu-

dations que les plantes souffrent, que leur activité organique en est diminuée, que leur croissance en est contrariée, et que si cet état dure trop longtemps, la plante finit par périr. Ce phénomène s'observe principalement dans les plantes qui sont garnies de feuilles à très grande surface et qui exhalent des quantités considérables d'eau.

Cette maladie se manifeste ordinairement à l'égard des navets, des citrouilles et des pois, lorsque, après une grande sécheresse et à une époque où la plante est presque mais non encore complétement développée, le sol vient à être détrempé par des averses fortes, mais de courte durée et suivies d'un temps sec. La transpiration de la plante étant alors plus active, celle-ci aspire, par ses racines dans l'eau, une quantité de sels beaucoup plus considérable qu'elle n'en peut utiliser. Ces sels viennent alors s'effleurir à la surface des feuilles, et lorsque celles-ci sont herbacées et pleines de sève, il s'y produit le même effet que si on les avait arrosées avec une solution saline dans laquelle le sel serait plus abondant que ne le comporte l'organisme de la plante. De deux plantes de la même espèce, cette maladie frappe toujours celle qui est le plus près de son développement complet ; si l'une des deux a été plantée plus tard, ou si elle a été retardée dans son développement, les mêmes causes qui auront agi d'une manière nuisible sur la première contribueront au contraire au développement de celle-ci.

VINGT-TROISIÈME LETTRE.

L'agriculture considérée comme art et comme science. — Nécessité de la chimie comme base des procédés agronomiques.

Dans quelques unes de mes précédentes lettres, j'ai essayé de vous présenter mes vues sur les divers aliments et sur le but qu'ils ont à atteindre dans l'économie animale. Dans ma lettre d'aujourd'hui je vais aborder un sujet qui n'a ni moins d'intérêt ni moins d'importance, savoir : par quels moyens on peut produire, sur une surface donnée de terre, un maximum de ces parties nutritives qui sont nécessaires aux animaux et aux hommes.

L'économie rurale est à la fois un art et une sc

base scientifique comprend la connaissance de toutes les circonstances de la vie des végétaux, celle de l'origine de leurs éléments et des sources de leur alimentation. De cette connaissance on déduit des règles fixes pour la pratique de l'art, on tire des principes sur la nécessité ou sur l'utilité de toutes les opérations mécaniques de l'agriculture qui préparent et favorisent le développement des végétaux et qui en écartent les influences nuisibles. Aucun des procédés appliqués dans la pratique de l'art ne peut être en opposition avec les principes de la science, précisément parce que ceux-ci ne sont qu'une expression intelligente de règles de conduite tirées de l'ensemble de toutes les observations. La théorie ne peut pas non plus être en contradiction avec aucune expérience, parce qu'elle ne fait elle-même autre chose que ramener une série de phénomènes à leurs causes ultérieures.

Une terre dans laquelle nous cultivons la même plante pendant plusieurs années consécutives devient stérile pour cette plante au bout de trois ans; une autre terre le devient après sept ans; une troisième après vingt ans, et enfin une quatrième ne le devient qu'après cent ans. L'une de ces terres porte du froment, mais on n'y peut récolter de pois; l'autre produit des navets, mais on n'y peut planter de tabac; la troisième donne d'abondantes récoltes de navets, mais elle ne produit pas de trèfle. Quelle est la raison qui fait qu'une terre perd successivement sa fertilité pour la même plante? Par quelle cause une espèce végétale y prospère-t-elle, tandis qu'une autre ne peut y réussir? *Telles sont les questions que la science se pose.*

Quels sont les moyens par lesquels on peut conserver à la terre la fertilité pour une même plante? Comment la rendre fertile pour deux, pour trois, pour toutes les plantes cultivées? *C'est l'art qui pose ces questions*, mais ce n'est pas l'art qui peut les résoudre.

Toutes les fois que l'agriculteur, sans être guidé par un véritable principe scientifique, se livre à des expériences pour rendre une terre propice à une plante que cette terre ne porterait pas sans cela, il n'y a qu'un bien faible espoir de succès. Des milliers de cultivateurs font, dans diverses directions, des essais de ce genre. Le résultat final en est une suite d'expérimentations dont l'ensemble constitue une méthode de culture par laquelle on a atteint, pour une certaine localité, le but qu'on s'était proposé. Or, il arrive souvent que cette méthode fait déjà défaut à la localité la plus voisine, qu'elle cesse d'être avantageuse pour une deuxième, pour une troisième contrée. Combien de capitaux, et quelle prodigieuse quantité de force ne se trouvent-ils pas perdus dans toutes ces expériences! Quelle différence et quelle sûreté ne trouve-t-on pas, au contraire, à suivre la voie tracée par la science, cette voie, qui non seulement ne nous expose pas au danger de l'insuccès, mais qui nous offre encore toutes les garanties possibles de profit! Lorsque la cause du défaut de réussite, c'est-à-dire celle de l'infertilité du sol, a été reconnue pour une, pour deux, pour trois plantes, il doit résulter de cette connaissance les moyens d'obvier aux inconvénients. Les observations les plus précises constatent que les méthodes de culture varient d'un pays à l'autre, suivant la constitution géologique du terrain. Lorsqu'on

se représente que le basalte, le grauwacke, le porphyre, le grès, le calcaire, renferment, en proportions variables, un certain nombre de combinaisons chimiques qui sont indispensables au développement des plantes, et qu'un terrain fertile doit leur fournir, on s'explique d'une manière fort simple cette variété qui existe dans la culture; car il est évident que la valeur d'une terre labourable, considérée sous le rapport de ses parties constituantes les plus importantes, doit varier dans le même rapport que la composition des roches par la désagrégation desquelles le sol s'est formé.

Le blé, le trèfle, les navets, exigent dans le sol certains principes; ils ne prospèrent pas dans un terrain où ces principes n'existent pas. La science nous apprend à découvrir ces derniers par l'examen des cendres végétales, et lorsque l'analyse d'un terrain nous montre leur absence, la cause de sa stérilité est reconnue.

C'est aussi par ce moyen que nous sont indiquées les conditions que nous avons à remplir pour remédier à cette infertilité. L'empirisme attribue tout succès de l'art aux opérations mécaniques de l'agriculture; il les regarde comme ce qu'il y a de plus important, sans s'enquérir des causes sur lesquelles repose leur utilité; et cependant c'est cette connaissance qui est réellement la plus importante; car c'est par elle que l'emploi des capitaux, que la dépense des forces se règlent de la manière la plus avantageuse, en ce qu'elle en prévient toute prodigalité. Est-il croyable que le passage du soc ou de la herse à travers la terre, que le simple contact du fer suffisent pour communiquer la fertilité au sol comme par magie? Personne ne l'admettra

assurément, et pourtant c'est là une question qui n'est point encore décidée en agriculture; il est certain que ce qui exerce une influence favorable dans un labour fait avec soin, c'est la division mécanique extrême, c'est le changement, c'est l'ameublissement que ce labour produit à la surface du sol; mais l'opération mécanique n'est ici qu'un simple moyen pour atteindre le véritable but.

Dans les sciences naturelles on entend par effet du temps (et notamment en agriculture, par jachère et par repos de la terre) certaines actions chimiques que les éléments de l'atmosphère exercent continuellement à la surface de l'écorce solide de la terre. C'est par l'influence de l'acide carbonique, de l'oxigène de l'air et de l'humidité produite par les eaux pluviales, que certaines parties constituantes des roches ou de leurs débris, qui forment le sol labourable, acquièrent la faculté de se dissoudre dans l'eau, et que, par suite de leur état de dissolution, elles se séparent des parties insolubles.

On sait que ce sont ces actions chimiques qui se trouvent impliquées dans cette expression figurée de la dent du temps qui détruit les ouvrages des hommes, et qui convertit peu à peu les roches les plus dures en poussière. Par l'influence de ces actions, certaines parties constituantes du sol sont rendues propres à l'assimilation pour les plantes; et c'est précisément cet effet qu'on cherche à produire dans les opérations mécaniques de l'agriculture. Ces opérations doivent accélérer la désagrégation, de manière à pouvoir offrir à de nouvelles générations de plantes les principes du sol qui

leur sont indispensables, et dans un état qui convienne le mieux à l'assimilation. On conçoit facilement qu'un corps solide se désagrège d'autant plus vite qu'il présente plus de surface; plus nous offrirons de points attaquables à l'influence de l'agent, plus l'action chimique s'effectuera promptement.

Pour désagréger un minéral dans une analyse, pour donner aux éléments de ce minéral la faculté de se dissoudre, le chimiste opère de la même manière que l'agriculteur avec la terre labourable. Il doit s'astreindre aux opérations les plus pénibles, les plus longues et les plus difficiles, afin de réduire le minéral à une poudre très fine; il sépare par des lavages les parcelles les plus ténues des parties plus grossières; aucune épreuve ne rebute sa patience, car il sait que la désagrégation ne sera pas complète, et que son opération ne réussira pas s'il ne procède dans cette préparation avec tout le soin possible.

L'influence que l'augmentation de surface d'une pierre exerce sur la désagrégation, c'est-à-dire sur les changements qu'elle éprouve par l'action chimique des éléments de l'atmosphère et de l'eau, s'observe sur une grande échelle dans les mines d'or de l'Yaquil, au Chili, dont M. Darwin nous a donné une description si intéressante. Le minerai aurifère est réduit en une poudre très fine dans des meules, et on sépare par un lavage les parties pierreuses plus légères d'avec les parties métalliques. Les premières sont emportées par un courant d'eau, tandis que les parcelles d'or tombent au fond des vases. On dirige le courant boueux dans des étangs où la boue se dépose par le repos. Lorsqu'un

étang se trouve plein, on en retire le limon déposé dont on fait un amas qu'on abandonne ensuite à lui-même, c'est-à-dire aux effets de l'air et de l'humidité. D'après la nature des lavages qu'on fait subir à la roche, le minerai réduit en poudre ne peut plus contenir aucun principe soluble, car le courant d'eau les a tous enlevés. Tant que le dépôt de limon reste recouvert d'une couche d'eau, et par conséquent à l'abri du contact de l'air, il n'éprouve, au fond des étangs, aucune altération; mais lorsqu'il se trouve exposé simultanément à l'action de l'air et à celle de l'humidité, il s'opère dans toute la masse une réaction chimique des plus actives, laquelle se manifeste par des effervescences salines très abondantes qui en recouvrent toute la surface. Lorsque, après une exposition à l'air pendant deux ou trois ans, cette boue s'est durcie comme une pierre, on renouvelle sur elle l'opération du lavage, que l'on réitère ainsi pendant six ou sept fois, obtenant chaque fois, toujours de moins en moins, de nouvelles quantités d'or qui ont été mises à découvert, c'est-à-dire séparées par la réaction chimique qui a donné lieu à l'effervescence. C'est une réaction toute semblable qui s'opère dans la terre labourée, et que nous augmentons ou que nous accélérons par les opérations mécaniques du labourage. Par elles, nous renouvelons les surfaces, et nous cherchons à rendre chaque partie du sol accessible aux effets de l'acide carbonique et de l'oxigène. Nous donnons ainsi naissance à une provision de substances minérales solubles qui sont indispensables à la nutrition et au développement des nouvelles générations de plantes.

VINGT-QUATRIÈME LETTRE.

Effets de la jachère. — Application de la chaux. — Effet de l'écobuage. — Amendements au moyen de la marne.

Ma dernière lettre devait vous donner quelques éclaircissements sur les principes généraux qui servent de base à l'art de l'agriculture. Il me reste encore maintenant à appeler votre attention sur quelques considérations particulières qui me paraissent propres surtout à démontrer d'une manière convaincante la liaison intime qui existe entre l'agriculture et la chimie, et comment, sans s'être familiarisé avec les principes de cette dernière science, il est impossible de faire des progrès

dans l'art agricole, qui est le plus important de tous les arts.

Toutes les plantes cultivées ont besoin d'alcalis ou de terres alcalines; chacune d'elles en demande une certaine proportion. Les blés ne prospèrent pas si, dans le sol, il n'y a pas d'acide silicique à l'état de dissolution. Les silicates qu'on rencontre dans la nature se distinguent essentiellement par la propriété qu'ils possèdent, à un degré plus ou moins marqué, de s'effleurir, par le plus ou moins de résistance que leurs parties constitutives opposent au pouvoir dissolvant des agents atmosphériques. Le granit de Corse tombe en poussière dans un intervalle où le granit poli de la Bergstrasse ne perd pas même son éclat.

Il y a des terrains qui sont si riches en silicates facilement désagrégeables que, dans l'espace d'une ou de deux années, il s'y trouve autant de silicate de potasse soluble et assimilable que peuvent en exiger les tiges et les feuilles de toute une récolte de blé. En Hongrie, il n'est pas rare de rencontrer de grandes étendues de terre où, de temps immémorial, on cultive alternativement sur la même terre du blé et du tabac, sans que l'on ait jamais rendu au sol aucun des principes minéraux qui en ont été enlevés par la paille et par les grains. Il y a d'autres terres labourables dans lesquelles la quantité de silicate de potasse nécessaire pour une seule récolte de froment ne devient soluble qu'au bout de deux ou trois ans, et même qu'après un plus grand nombre d'années.

Le mot de *jachère* signifie donc, dans son sens le plus étendu, la période de culture où l'on abandonne le sol

pliqué l'action de la chaux caustique sur les terres labourables, et fourni à l'agriculture un moyen précieux de désagréger le sol et de mettre en liberté les alcalis nécessaires au développement des plantes.

Dans les comtés d'York et d'Oxford, les champs, pendant le mois d'octobre, offrent l'aspect d'un sol couvert de neige. On y voit des terrains de plusieurs lieues carrées recouverts de chaux éteinte ou délitée à l'air, laquelle, durant les mois humides de l'hiver, exerce une influence heureuse sur le sol compacte et argileux de ces contrées.

Dans le sens de la théorie de l'humus, théorie qu'on a aujourd'hui abandonnée, il faudrait croire que la chaux vive exerce une action très nuisible sur la terre, parce qu'elle détruit les substances organiques qu'elle renferme, et qu'elle les rend, par cela même, impropres à fournir l'humus nécessaire à une nouvelle végétation; mais c'est précisément le contraire qui arrive; la chaux ne fait qu'augmenter la fertilité du sol. Les céréales exigent des alcalis et des silicates solubles qui sont rendus assimilables par la présence de la chaux. S'il existe, en outre, dans le sol une substance en voie de décomposition lente qui fournisse aux plantes de l'acide carbonique, le développement de celle-ci s'en trouvera favorisé; mais la présence de cette substance n'est pas absolument nécessaire. Si nous fournissons au sol, dans le cas où ils viendraient à y manquer, l'ammoniaque et les phosphates qui sont si indispensables aux céréales, nous aurons alors rempli toutes les conditions pour obtenir une abondante récolte; car, pour ce qui regarde l'acide carbonique, l'atmosphère en est un magasin réellement

népuisable. Une opération qui a une influence non moins favorable sur la fertilité des terres argileuses, c'est, pour les localités riches en tourbes, la simple calcination du sol.

L'observation du changement remarquable que l'argile éprouve dans ses propriétés par la calcination est encore bien récente; on l'a faite, pour la première fois, dans l'analyse de quelques silicates à base d'alumine. En effet, il y a beaucoup de ces silicates qui, à l'état naturel, ne sont pas attaqués par les acides, acquièrent une solubilité parfaite si on commence par les chauffer jusqu'à l'incandescence, ou si on les fait fondre. Parmi les silicates de ce genre, on compte l'argile plastique, la terre de pipe, la terre glaise et les argiles diversement modifiées que renferme la terre labourable. A l'état naturel, ces silicates d'alumine peuvent être portés en ébullition pendant des heures entières, par exemple avec de l'acide sulfurique concentré, sans se dissoudre sensiblement; mais lorsque l'argile (comme la terre de pipe dans quelques fabriques d'alun) a été faiblement calcinée, elle se dissout dans l'acide avec la plus grande facilité, et la silice qui se trouve dans la dissolution se sépare à l'état de gelée soluble.

L'argile plastique ordinaire appartient aux terrains les plus stériles, bien qu'elle offre dans sa composition toutes les conditions qui peuvent donner lieu à une végétation luxuriante pour beaucoup de plantes. Mais la seule présence de ces principes ne suffit pas pour que la plante les mette à profit. Il faut encore que le sol soit

rendu perméable à l'air, à l'oxigène, à l'acide carbonique; pour que ces conditions principales soient remplies, il faut qu'il soit rendu pénétrable aux racines, et que celles-ci puissent s'y développer en liberté; en un mot, il faut que les principes qu'il renferme soient dans un état tel qu'ils puissent être absorbés par les plantes. Toutes ces propriétés manquent à l'argile plastique; mais elles lui sont communiquées par une faible calcination (1).

La grande différence qui existe entre la manière de se comporter de l'argile calcinée et de celle qui ne l'est pas se manifeste dans les localités humides où les maisons sont construites en briques. Dans les villes de Flandre, où presque toutes les constructions sont de ce genre, on observe à la surface des murs, même peu de jours après qu'ils ont été faits, des efflorescences salines, qui semblent les revêtir d'une espèce de feutre blanc. Lorsque la pluie vient enlever ces sels, ils ne tardent pas à reparaître; ce fait s'observe même sur les murs des portes de la place forte de Lille, dont la pose remonte à plusieurs siècles. Ces efflorescences contiennent des carbonates et des sulfates à bases alcalines, sels qui, comme on le sait, jouent un rôle fort

(1) L'auteur de ces lettres a vu à Hardwick-Court, près de Glocester, le jardin de M. Backer, dont le terrain, tout composé d'une argile compacte, a passé de l'état le plus stérile à celui de la plus grande fertilité par le seul effet de la calcination. L'opération y a été pratiquée jusqu'à trois pieds de profondeur. — Ce n'est point là assurément un procédé économique, mais le but n'en a pas moins été atteint.

important dans la végétation. L'influence de la chaux sur ces efflorescences est fort remarquable ; elles commencent toujours à apparaître aux points où il y a contact du mortier avec la brique.

Il est évident que, dans les mélanges d'argile et de chaux, toutes les conditions se trouvent réunies pour la désagrégation des silicates d'alumine, et aussi toutes celles nécessaires pour la dissolution des silicates alcalins. La chaux qui se dissout dans l'eau saturée d'acide carbonique agit sur l'argile comme le fait un lait de chaux ; et, par là, s'explique l'influence favorable qu'une distribution de marne (mot qui désigne toutes les argiles riches en chaux) exerce sur la plupart des terrains. Il y a des sols marneux qui surpassent tous les autres en fertilité, et cela pour toutes les espèces de végétaux. La marne cuite doit se montrer encore plus efficace ; il doit en être ainsi de tous les minéraux qui ont une composition analogue, parmi lesquels se trouvent compris, comme on le sait, les calcaires propres à la préparation des chaux hydrauliques. Par l'emploi de ceux-ci, le sol acquiert non seulement les bases alcalines qui sont utiles aux plantes, mais encore la silice dans un état favorable à l'assimilation.

Les cendres de lignites et de houilles sont employées, dans beaucoup de localités, comme un excellent moyen d'amender le sol ; on reconnaît particulièrement celles qui sont propres à ce but à la propriété qu'elles ont de former une gelée avec les acides, ou de durcir en peu de temps comme une pierre, de même que la chaux hydraulique, quand on les mélange avec du lait de chaux.

Les opérations mécaniques du labourage, l'emploi de la chaux et la calcination de l'argile, s'unissent, comme on le voit, pour éclaircir un seul et même principe scientifique. Ce sont autant de moyens propres à accélérer la désagrégation des silicates à base d'alumine et d'alcali, et à fournir certains principes nutritifs indispensables au commencement d'une nouvelle végétation.



VINGT-CINQUIÈME LETTRE.

Nature et mode d'action des engrais. — Destruction des substances végétales. — Excréments. — Valeur des excréments des divers animaux, comme engrais.

Après vous avoir, dans ce qui précède, communiqué mes vues sur l'amélioration du sol par l'effet mécanique des labours et par l'addition de substances minérales, il me reste quelques mots à ajouter sur la manière dont agissent les excréments des animaux, sur l'effet des engrais, en prenant ce mot dans un sens plus restreint.

Pour se former une idée juste de la valeur et du mode d'action des excréments des animaux, il est surtout nécessaire de se rappeler leur origine. Tout le monde sait que, par la privation de toute nourriture, le poids du

corps de l'animal vivant diminue de jour en jour. Lorsque cet état se prolonge, cette diminution de poids est rendue sensible à l'œil par l'amaigrissement; la graisse, les muscles vont s'amoindrissant, et finissent par disparaître, au point que chez les individus qui meurent d'inanition, il ne reste plus que la peau, les tendons et les os. Il résulte de cet amaigrissement d'un corps d'ailleurs bien portant qu'une partie de la matière organisée du corps éprouve un changement continuel durant la vie de l'animal; que cette matière prend la forme de combinaisons inorganiques, qui sont évacuées, dans un état d'altération considérable, par les organes de la sécrétion, par la peau, le poumon et la vessie. Cette évacuation des parties organisées du corps se trouve être dans la relation la plus intime avec l'acte de la respiration; on peut dire qu'elle correspond à l'absorption de l'oxigène atmosphérique qui se combine avec certaines parties du corps. A chaque aspiration, il est amené au sang, dans le poumon, une certaine quantité d'oxigène qui se combine avec les éléments de ce sang; mais quoique le poids de cet oxigène absorbé puisse s'élever à 13 ou 14 onces, le poids du corps n'en est pas augmenté. Tout l'oxigène qui entre dans le corps par l'inspiration est complétement évacué, par l'expiration, à l'état d'acide carbonique et d'eau; à chaque inspiration, les quantités de carbone et d'hydrogène qui se trouvent dans le corps éprouvent une diminution. Toutefois, dans l'amaigrissement par la faim, la diminution du poids du corps provient non seulement de l'évacuation du carbone et de l'hydrogène, mais il résulte aussi de ce que toutes les substances qui se sont trouvées com-

binées avec ces deux éléments ont été pareillement rejetées. L'azote des tissus vivants qui éprouvent ce changement se ramasse dans la vessie. L'urine contient une combinaison très riche en azote, l'urée ; elle contient en outre le soufre de ces tissus sous forme de sulfate. Par l'urine, se trouvent successivement rejetés au-dehors tous les sels solubles du sang, et ceux de tous les liquides de l'économie animale, savoir : le sel marin, les phosphates, la soude et la potasse. Le carbone et l'hydrogène du sang, les fibres des muscles, et tous les tissus de l'organisme capables d'éprouver une altération, reviennent à l'atmosphère ; l'azote, ainsi que les principes solubles inorganiques, est rendu à la terre sous forme d'urine.

Nous avons considéré plus haut les mutations qui s'effectuent continuellement dans le corps sain de l'animal à l'état de santé ; nous savons qu'une partie de ce corps, dans les circonstances ordinaires, est rejetée à l'état insoluble ; et il est évident que si l'on veut que son poids primitif soit rétabli, il faut y amener des substances avec lesquelles le sang et les matières rejetées puissent se reproduire. Cette restitution s'opère par les aliments. Dans l'espace de vingt-quatre heures, on n'observe ni augmentation ni diminution de poids sensible dans le corps d'un adulte bien portant. Pendant le jeune âge, le poids du corps augmente peu à peu ; dans la vieillesse, il diminue. Il est évident que les aliments ont réparé les pertes produites par les substances rejetées ; que, par leur introduction dans le corps adulte, celui-ci a reçu exactement autant de carbone, d'azote, d'hydrogène et des autres éléments, qu'il en avait perdu par la peau, par

le poumon et par la vessie. Dans le jeune âge, la quantité des principes alimentaires ingérés étant plus considérable que la quantité rejetée, il en reste une partie dans l'organisme ; dans la vieillesse, la quantité reçue est moindre, ou bien il s'en évacue plus qu'il n'en rentre dans l'économie. On ne peut donc pas mettre en doute que nous ne retrouvions dans les excréments, solides et liquides, des hommes et des animaux, tous les principes alimentaires, sauf une certaine quantité de carbone et d'hydrogène, qui a été rejetée par la peau et par le poumon.

Avec les aliments, nous amenons de l'azote dans le corps de l'animal adulte, jeune ou vieux ; et cet azote nous est restitué chaque jour à l'état d'urée ; nous trouvons dans l'urine la totalité des alcalis que les aliments renfermaient, et dans les excréments solides se retrouvent beaucoup de substances de ces mêmes aliments, qui n'ont pas éprouvé d'altération dans l'organisme ; ce sont les matières incapables d'être digérées, telles que le ligneux, la chlorophylle, la cire, qui sont rejetés avec ou sans modification. Tout l'acte de la nutrition dans l'animal, c'est-à-dire le remplacement des substances évacuées, ou l'augmentation de la masse, dépend du sang, ainsi que la physiologie nous le démontre. L'acte de la digestion a pour but la transformation de l'aliment en sang, l'assimilation de toutes les substances qui constituent cet aliment, et qui servent à la sanguification ; on peut considérer cet acte comme une soustraction progressive d'azote (puisqu'il n'y a que les matières azotées qui conviennent à ce but) que les aliments éprouvent pendant leur passage à travers les intestins. Il est dès lors

évident que les excréments solides doivent être privés de l'azote des aliments quand le corps les rejette; qu'ils ne peuvent plus renfermer d'autre azote que celui qui provient des sécrétions des intestins destinées à favoriser le passage des fèces. De plus, par celles-ci sont évacués le phosphate de chaux et de magnésie qui étaient contenus dans les aliments, et qui n'ont pas été employés dans le corps; ce sont des sels qui ne se dissolvent pas dans l'eau, c'est-à-dire dans l'urine.

Sans recourir à d'autres recherches, on pourra se faire une idée nette des propriétés chimiques des excréments solides, en comparant ceux d'un chien avec ses aliments. Nous donnons au chien de la viande et des os, deux substances qui sont riches en matières azotées, et nous obtenons pour résultat final un excrément complétement blanc et pénétré d'humidité; lequel étant exposé à l'air se réduit en une poudre sèche qui, indépendamment du phosphate de chaux qui s'est trouvé dans les os, renferme à peine un pour cent d'une substance organique étrangère. Nous obtenons donc, dans les excréments, liquides et solides, de l'homme et des animaux, tout l'azote, toutes les matières inorganiques, solubles et insolubles, qui ont été consommées avec les aliments; et puisque ces matières proviennent de nos champs, nous avons, par conséquent, en elles les parties constituantes de notre terre labourable, que nous en avons enlevées sous formes de graines, de racines et de feuilles de plantes.

Une partie des récoltes est employée à la nutrition et à l'engraissement des bestiaux qui servent de nourriture à l'homme. Une autre partie est consommée directement

me de farine, de pommes de terre, de lé-
isième partie enfin constitue les débris
végétaux non consommés, que l'on utilise, sous forme de
p comme litière. Il est évident que, par les excré-
uides et solides des hommes, que par les os et
l es animaux tués, nous sommes mis en état de
tous les principes minéraux qui ont été enlevés
par les animaux et par les autres produits
coles: il ne dépend donc que de nous, en recueil-
ment toutes ces matières, de rétablir l'é-
ns la composition de nos terres labourables.
calculer quelle quantité de ces substances
ns au sol par une brebis, par un bœuf ou
un boisseau d'orge, ou de froment, ou de
. De même, nous pouvons déterminer,
ompo n connue des fèces de l'homme, la
qu'il en faut rapporter dans nos champs pour
compenser les pertes qu'ils ont éprouvées.

Il est certain que nous pourrons nous passer des excréments des animaux et des hommes si nous sommes en état de nous procurer par d'autres sources les matières dont les excréments tirent toute leur valeur en agriculture. Pour atteindre ce but, il importe peu que nous apportions dans nos champs l'ammoniaque sous forme d'urine ou sous forme d'un sel extrait du goudron de houille; qu'on y répande le phosphate de chaux sous forme d'os ou à l'état d'apatite. Le principal problème de l'agriculture est de restituer d'une manière quelconque les principes enlevés au sol, et que l'atmosphère peut fournir. Tant que cette restitution n'est pas plète, la fertilité de nos champs, celle de toute sorte

de terre va en diminuant ; elle va au contraire en augmentant lorsqu'on apporte dans le sol plus qu'on ne lui a enlevé.

L'importation de l'urine ou des excréments solides peut être considérée comme équivalente à celle du blé ou des bestiaux. Toutes ces matières, dans un intervalle de temps qu'on peut exactement déterminer, se transforment en blé, en viande et en os ; elles passent ainsi dans le corps de l'homme, et elles en sont journellement rejetées sous la forme qu'elles possédaient primitivement. La seule perte réelle que nos mœurs nous empêchent de prévenir est celle du phosphate de chaux que les hommes emportent avec leurs os dans la tombe. Chaque partie de cette immense quantité d'aliments que l'homme consomme dans l'espace de soixante ans, et qui provient de nos champs, peut être regagnée et y être ramenée. Nous savons avec la plus grande certitude que ce n'est que dans le corps du jeune animal, ou de celui qui se développe, qu'une certaine quantité de phosphate de chaux reste dans les os, ou qu'une certaine quantité de phosphates alcalins reste dans le sang. Par conséquent, à l'exception de ces quantités, très faibles comparativement à celles qui se consomment chaque jour, tous les sels à base alcaline, la totalité des phosphates de chaux et de magnésie que l'animal reçoit journellement, en un mot, toutes les matières inorganiques des aliments, se retrouvent dans les excréments solides ou liquides.

Sans faire l'analyse de ces excréments, nous pouvons en déterminer avec facilité la quantité ; nous pouvons en indiquer les propriétés et la composition. Nous don-

nons, par jour, à un cheval, 4 1/2 livres d'avoine et 15 livres de foin; l'avoine donne 4 pour cent, et le foin 9 pour cent de cendres, et nous en déduisons que les excréments du cheval doivent renfermer, par jour, 21 onces de matières minérales, lesquelles proviennent de notre champ. L'analyse des cendres de l'avoine et du foin nous indique exactement, en centièmes les proportions de silice, d'alcalis et de phosphates qu'ils renferment.

Il est facile d'observer que la nature des principes fixes que les excréments renferment varie avec le genre de nourriture. Lorsque nous donnerons à une vache des betteraves ou des pommes de terre, sans foin ni paille d'orge, ses excréments solides ne contiendront pas de silice; ils renfermeront des phosphates de chaux et de magnésie; ses excréments liquides contiendront des carbonates de potasse et de soude, ainsi que des combinaisons de ces bases avec des acides inorganiques; nous retrouverons, en un mot, dans ces excréments liquides tous les principes solubles qui se seraient trouvés dans la cendre des aliments consommés; et nous aurons dans les excréments solides les matières de cette cendre qui ne sont pas solubles dans l'eau. Si le fourrage ou les aliments (pain, farine, graines de toute espèce, viande) donnent, pour résidu de la combustion, une cendre qui contienne des phosphates alcalins solubles, nous obtiendrons de l'animal qui aura consommé ces aliments une urine dans laquelle nous retrouverons ces phosphates alcalins. Si la cendre des aliments (foin, navets, pommes de terre) ne cède à l'eau aucun phosphate de potasse, si elle ne contient que des phosphates terreux insolubles, il ne se trouvera pas non plus de phosphate

alcalin dans l'urine; mais les phosphates insolubles passeront, dans ce cas, dans les excréments solides. L'urine de l'homme et celle des carnivores et des granivores renferment des phosphates alcalins; mais l'urine des herbivores ne renferme pas de sels de cette nature.

L'analyse des excréments de l'homme, celle des excréments des oiseaux piscivores, du guano, ainsi que celle des excréments du cheval et de la vache, nous fournissent à cet égard les éclaircissements les plus satisfaisants. Ces analyses constatent, en effet, qu'avec les excréments, solides et liquides, de l'homme et des animaux, nous rapportons dans nos champs *les cendres des plantes* qui leur ont servi de nourriture. Ces cendres se composent des sels solubles, des sels insolubles, et des terres qui, indispensables au développement des plantes cultivées, doivent être fournies par le sol fertile.

Il n'y a donc pas de doute qu'en rapportant ces excréments dans le sol, nous rapportons avec eux les principes de ce sol qui en ont été enlevés par la récolte, et que nous lui rendons, par cela même, la faculté de fournir à une récolte nouvelle. Nous rétablissons ainsi l'équilibre dérangé. Maintenant que nous savons que les principes terreux du fourrage passent dans l'urine et dans les excréments de l'animal qui en a été nourri, il devient possible de déterminer avec la plus grande facilité la valeur relative des différents engrais. Les excréments, liquides et solides, d'un animal, ont la plus grande valeur, comme engrais, pour les plantes dont cet animal s'est nourri. La fiente des porcs que nous avons nourris avec des pois et des pomr[illegible] re

convient surtout pour fumer les champs de pois et de pommes de terre. Nous donnons à une vache du foin et des navets, et nous en obtenons un fumier qui renferme tous les principes minéraux des graminées et des navets; nous devons donc donner la préférence particulièrement à cet engrais pour fumer les champs de navets. C'est ainsi que la fiente de pigeon contient les principes minéraux des récoltes en grains; que celle de lapin renferme les matières des plantes herbacées et des légumes; que les excréments, tant solides que liquides, de l'homme, contiennent en très grande quantité les principes minéraux de toutes les semences.



VINGT-SIXIÈME LETTRE.

Sources du carbone et de l'azote des plantes. — Le rendement en carbone des forêts et des prairies dans le sol desquelles il n'est entré que des substances minérales prouve que sa source est dans l'atmosphère. — Rapport entre les principes du sol, le carbone et l'azote. — Action de l'acide carbonique et de l'ammoniaque renfermés dans les engrais. — Nécessité des substances inorganiques pour la production des principes du sang. — Nécessité des recherches analytiques pour le progrès de l'agriculture.

Vous êtes à présent suffisamment familiarisés avec mes idées sur l'emploi et les effets des diverses espèces d'engrais. — Il vous sera actuellement très facile de comprendre les explications suivantes, que je vous dois

encore sur les sources auxquelles le règne végétal puise son carbone et son azote.

Les expériences qui ont été faites dans la culture des forêts et des prairies ont fait reconnaître que l'atmosphère renferme une quantité d'acide carbonique inépuisable pour la végétation.

Sur des surfaces égales de terrain, en forêt ou en prairie, dans un sol qui renferme les principes minéraux indispensables à la végétation, nous récoltons sous forme de bois ou de foin, sans qu'on y ait apporté aucun engrais carboné, une quantité de carbone égale, et dans beaucoup de cas supérieure à celle qu'une terre cultivée produit en paille, en graines et en racines.

Il est évident qu'il est apporté et offert par l'atmosphère tout autant d'acide carbonique à une terre cultivée qu'à une égale surface de forêt ou de prairie; que le carbone de cet acide carbonique est assimilé par nos plantes cultivées, ou qu'il devient assimilable pour elles s'il trouve réunies dans nos champs les conditions nécessaires pour son absorption, pour sa transformation en partie constituante de ces végétaux.

Un sol, malgré l'affluence des principes nutritifs, est complétement stérile pour la plupart des plantes, si l'eau, par exemple, vient à lui manquer dans certaine saison. La pluie fertilise nos champs; les semences ne se germent et ne se développent pas sans une certaine quantité d'humidité.

A ne juger la chose que superficiellement, les effets de la pluie sont bien plus grands, bien plus frappants que ceux des engrais; son influence sur la récolte d'un champ est visible pendant des semaines et des mois, et

cependant les plantes ne reçoivent par les pluies que de très faibles quantités d'acide carbonique et d'ammoniaque.

L'eau, par ses éléments, prend incontestablement une certaine part au développement des plantes ; mais elle est en même temps l'agent intermédiaire de toute la vie organique.

Par l'intervention de l'eau, la plante reçoit du sol les alcalis, les terres alcalines et les phosphates nécessaires à la formation de ses organes. Si les principes minéraux, qui sont nécessaires à l'introduction des aliments atmosphériques dans l'organisme de la plante, viennent à manquer, l'accroissement de celle-ci en sera retardé ; son développement, pendant la saison sèche, est en raison directe de la quantité des substances qui ont été tirées du sol dans la première période de sa croissance. Dans un sol pauvre en substances nutritives minérales, nos plantes cultivées ne prospèrent pas, lors même que l'eau leur est offerte en abondance.

Le rapport, en carbone, d'une prairie ou d'une égale surface de forêt est indépendant de la présence dans le sol d'engrais carbonés ; mais il dépend de celle de certains principes minéraux, qui ne contiennent pas de carbone, et des conditions qui déterminent l'absorption de ces principes par les plantes.

Nous pouvons augmenter le rapport en carbone de nos terres cultivées en y répandant de la chaux calcinée, des cendres et de la marne, c'est-à-dire des matières qui ne peuvent pas fournir de carbone à la végétation. D'après ces expériences bien constatées, il est positif que nous approvisionnons alors le sol de certains

principes qui donnent aux plantes qui s'y développent un pouvoir qu'elles ne possédaient d'abord qu'à un moindre degré, c'est-à-dire le pouvoir d'augmenter leur masse et leur carbone.

On ne peut donc pas contester que la stérilité d'un champ, ou que son faible rendement en carbone, ne tienne à un manque d'acide carbonique ou d'humus; mais nous pouvons augmenter ce rendement dans de certaines limites en faisant intervenir dans le sol des matières qui ne contiennent pas de carbone. Mais la source qui fournit le carbone à la prairie ou à la forêt, est aussi ouverte à nos végétaux cultivés; il s'agit donc principalement, en agriculture, d'employer les moyens les plus propres à fixer dans les plantes de nos terres le carbone de l'atmosphère, c'est-à-dire l'acide carbonique. C'est par les aliments minéraux que l'art de l'agriculteur fournit aux plantes ce moyen de s'approprier le carbone d'une source dont l'abondance est inépuisable; en l'absence de ces principes du sol, le rendement des terres ne pourrait s'accroître, malgré l'affluence la plus abondante de l'acide carbonique ou la présence des matières en putréfaction.

La quantité d'acide carbonique qui, dans un temps donné, peut passer de l'air dans une plante, est limitée par la proportion de cet acide, qui arrive au contact des organes absorbants de cette plante.

C'est par les feuilles que s'effectue le passage de l'acide carbonique de l'air dans l'organisme de la plante. L'absorption ne peut avoir lieu s'il n'y a contact entre les particules de l'acide et la surface des feuilles, ou de la partie de la plante qui est capable de l'absorber.

La quantité d'acide carbonique absorbée dans un temps donné est donc en raison directe de la surface des feuilles et de la quantité d'acide carbonique qui se trouve dans l'air.

Deux plantes de la même espèce, et offrant une même surface de feuilles (une même surface d'absorption), fixent, dans le même temps et dans les mêmes conditions, la même proportion de carbone.

Dans une atmosphère qui contient une quantité double d'acide carbonique, une plante, toutes choses égales d'ailleurs, absorbe deux fois plus de carbone (1).

Une plante, dont les feuilles n'offrent en surface que moitié de la surface des feuilles d'une autre plante, absorbera, dans le même temps, autant de carbone que cette dernière, s'il lui est amené une quantité double d'acide carbonique.

De là résulte, pour les plantes cultivées, l'effet si utile de l'humus et de toutes les matières organiques tombées en combustion lente.

La jeune plante qui n'est alimentée que par l'air ne peut absorber que la proportion de carbone qui est en rapport avec sa surface d'absorption, et il est évident que si, par ses racines, elle reçoit, dans le même temps, par l'effet de l'humus, trois fois autant d'acide carbonique qu'elle en absorbe par ses feuilles, son augmentation de poids sera quadruple (toutes les condi-

(1) M. Boussingault a vu que des feuilles de vigne renfermées dans un ballon enlevaient tout l'acide carbonique à l'air qu'on y faisait passer, quelque rapide qu'en fût le courant. (Dumas, *Leçons sur la statique*, page 23.)

tions pour l'assimilation du carbone se trouvant réunies). Il se formera donc quatre fois plus de feuilles, de bourgeons, de tiges, etc.; et, par cette augmentation de surface, la plante aura acquis une augmentation de puissance d'absorption qui sera dans le même rapport pour s'approprier l'aliment qui lui vient de l'air. Cette puissance d'absorption se maintiendra encore en activité à une époque où l'afflux du carbone par les racines aura cessé.

L'humus, comme source d'acide carbonique dans les terres cultivées, agit d'une manière utile non seulement comme moyen d'augmenter dans les plantes la quantité de carbone, mais aussi en ce que, par l'augmentation de la masse végétale, dans un temps donné, il est, par le fait, gagné de l'espace pour l'absorption des principes du sol, qui sont nécessaires pour le développement de nouvelles feuilles et de nouveaux rameaux.

Par les surfaces d'une jeune plante, il se fait une transpiration continuelle d'eau, dont la quantité est en rapport direct avec la température extérieure et avec l'étendue de ces surfaces. Les nombreuses radicelles de la plante, semblables à autant de pompes aspirantes, lui restituent cette eau évaporée; et tant que le sol reste humide, ou que la terre est pénétrée d'humidité, elles amènent, dissous par cette eau, les principes minéraux indispensables à la plante. Dans une plante dont les feuilles offrent une surface double de celle des feuilles d'une autre plante, l'évaporation est deux fois plus considérable que dans cette dernière. Lorsque l'eau, après avoir été aspirée par la plante, s'en échappe à l'état de vapeur, les sels et les autres principes du sol qu'elle a

introduits dans le végétal y restent. Pour une masse d'eau proportionnellement égale, une plante offrant, par ses feuilles, une surface double, reçoit d'un même sol une quantité de matières minérales plus grande, en proportion de cette masse d'eau, qu'une plante dont les feuilles offrent une surface de moitié moindre.

Tandis que le développement de la plante dont la surface est moindre atteint promptement sa limite, lorque l'accès des principes minéraux vient à cesser, l'autre plante, qui a plus de surface, continue à s'accroître, parce qu'elle accomplit sur une plus grande échelle les conditions nécessaires pour l'assimilation des principes atmosphériques. Dans les deux plantes, il ne peut se former qu'une quantité de graines correspondante aux substances minérales qui sont en présence. Celle qui renferme plus de phosphates alcalins et de sels terreux produit plus de graines que l'autre, qui, dans le même temps, n'a pu absorber qu'une moindre quantité de ces sels.

En effet, pendant un été chaud, lorsque le défaut d'humidité empêche l'accès, dans les plantes, des principes du sol, nous voyons que la hauteur et la vigueur de celles-ci, ainsi que le développement de leurs graines, sont en raison directe de la quantité de ces principes qui a été absorbée pendant la période qui a précédé la croissance.

Nous récoltons sur une seule et même terre, dans des années différentes, des quantités fort inégales de grains et de paille. Pour des poids égaux de grains ayant la même composition chimique, la récolte brute d'une année est de moitié plus considérable que celle d'une

autre année; ou bien, pour des poids égaux de paille (de carbone), nous récoltons deux fois plus de grains dans une année que dans une autre.

Mais si nous récoltons sur la même surface deux fois plus de grain, nous avons alors dans ce grain une quantité correspondante plus considérable de principes tirés du sol; de même, avec une récolte double de paille, nous enlevons au sol, par cette paille, une quantité double de substances minérales.

Il y a une année où le blé atteint une hauteur de trois pieds, et fournit, par arpent, douze cents livres de grain; dans l'année suivante, il atteint une hauteur de quatre pieds, et il ne donne que huit cents livres de grain.

Cette inégalité de récolte correspond, dans tous les cas, à la proportion différente des principes minéraux qui ont été absorbés pour la formation du grain et de la paille. La paille renferme et exige des phosphates aussi bien que le grain; seulement, c'est dans une proportion beaucoup moindre. Lorsque, par un printemps humide, l'affluence des phosphates n'a pas lieu dans le même rapport que celle des alcalis, de l'acide silicique et des sulfates; lorsque la proportion de ces derniers est plus forte que celle des phosphates, la proportion du carbone augmente, et il est employé une plus grande quantité de phosphates au développement des feuilles et des tiges; sans un excès de phosphate, le grain ne se forme pas bien. Nous pouvons même, par la simple exclusion de ces sels, provoquer artificiellement le cas où la plante atteint une hauteur de trois pieds et fleurit sans porter de graine. Sur une terre riche en principes nécessaires à la formation

de la paille (sur un terrain gras), nous récoltons, après un printemps humide, proportionnellement moins de grain que sur une terre qui est pauvre en principes de même nature (que sur un terrain maigre). En effet, dans ce dernier cas, l'affluence des substances minérales est plus forte dans le même temps, et elle s'établit dans des conditions plus convenables au développement de toutes les parties constituantes de la plante.

Supposons que nous ayons procuré en grande abondance à nos plantes cultivées toutes les conditions nécessaires à l'assimilation des aliments atmosphériques, l'effet de l'humus consistera donc à accélérer leur développement, à gagner du temps. Dans tous les cas, l'humus augmente le rendement du carbone, lequel, si les conditions nécessaires à la formation d'autres combinaisons viennent à manquer, se transforme alors en amidon, en sucre, en gomme; il prend, par conséquent, la forme de matières qui ne contiennent pas de principes minéraux.

L'à-propos, en agriculture, doit toujours être porté en ligne de compte; et sous ce rapport, l'humus est, pour la culture des légumes, d'une importance toute particulière.

Les céréales et les plantes dont on mange les racines trouvent, dans les débris d'une végétation précédente qui sont restés dans nos champs, une quantité de matières en décomposition dont les parties constituantes correspondent aux substances minérales renfermées dans le sol; et ces débris leur fournissent assez d'acide carbonique pour qu'elles puissent se développer rapidement au printemps. Toute autre affluence d'acide

carbonique serait absolument sans utilité, s'il n'y avait pas une augmentation correspondante des substances minérales que ces plantes peuvent s'approprier.

D'après les données fournies par les agronomes les plus dignes de foi, nous obtenons, en moyenne, d'un arpent de bonne prairie, 2500 livres de foin. Les prairies fournissent cette récolte sans qu'on y répande de matières organiques, sans qu'on y porte aucun engrais carboné ou azoté. Ce rendement peut être doublé par des irrigations convenables, par l'emploi des cendres et du plâtre; mais admettons que les 2500 livres de foin soient le maximum de la récolte, il est certain que tout le carbone et tout l'azote de ces prairies proviennent de l'atmosphère.

D'après les indications de M. Boussingault, le foin desséché à la température de cent degrés renferme 45,8 pour cent de carbone et 1,5 pour cent d'azote; le foin séché à l'air renferme, de plus, 14 pour cent d'eau qui se dégagent à la température de cent degrés.

Ainsi, 2500 livres de foin séché à l'air correspondent à 2150 livres de foin desséché à cent degrés. On a donc récolté sur un arpent de prairie, en même temps que les 984 livres de carbone renfermées dans le foin, 32,3 livres d'azote.

Si nous admettons que cet azote ait été absorbé, sous forme d'ammoniaque, par les plantes, il est évident que dans 3640 livres d'acide carbonique (à 27 pour cent de carbone), l'air contient au moins 39,1 livres d'ammoniaque (à 82 pour cent d'azote), ou bien que [illegible]r 1000 livres d'acide carbonique l'air renferme [illegible] livres d'ammoniaque, ce qui est à peu près la cent

millième partie du poids de l'air, ou, ce qui revient au même, la soixante millième partie de son volume.

Sur cent parties d'acide carbonique qui ont été absorbées par la surface des feuilles, les plantes d'une prairie ont reçu de l'air un peu plus d'une partie d'ammoniaque.

Si nous calculons, par des analyses connues, combien d'azote les différentes plantes cultivées fournissent pour des surfaces de terrains égales, nous avons pour résultats les proportions suivantes.

Sur mille livres de carbone, nous récoltons :

Dans une prairie.		32,7 livres d'azote.
Dans les terres cultivées produisant	du froment.	21,5
—	de l'avoine.	22,3
—	du seigle.	15,2
—	des pommes de terre	34,1
—	des betteraves	39,1
—	du trèfle	44,0
—	des pois.	62,0

M. Boussingault a récolté, dans sa propriété de Bechelbronn, en Alsace, en cinq années, sous forme de pommes de terre, de froment, de trèfle, de navets et d'avoine, 8383 livres de carbone et 250,7 livres d'azote ; dans les cinq années suivantes, il a récolté, sous forme de betteraves, de froment, de trèfle, de froment, de navets dérobés, d'avoine, de seigle, 8192 livres de carbone et 284,2 livres d'azote ; dans une troisième rotation de six ans (pommes de terre, froment, trèfle, froment, navets dérobés, pois, seigle), 10949 livres de carbone et 353,6 livres d'azote ; dans

ces seize ans, 27424 livres de carbone, et 858,5 livres d'azote, c'est-à-dire, en somme, pour 1000 de carbone, 31,3 d'azote.

Il résulte de ces faits plusieurs conséquences qui sont de la plus haute importance pour l'agriculture.

Nous remarquons premièrement que la proportion de l'azote absorbé relativement au carbone est dans un rapport défini avec la surface des feuilles. Les végétaux dans lesquels tout l'azote se concentre, pour ainsi dire, comme dans les céréales, contiennent en somme moins d'azote que les légumineuses, les pois et le trèfle.

Secondement, le rendement en azote d'une prairie qui ne reçoit pas d'engrais azoté, est beaucoup plus considérable que celui d'un champ de blé qui a été fumé.

Troisièmement, le rendement, en azote, du trèfle et des pois, est beaucoup plus grand que celui d'un champ de pommes de terre et de betteraves qui a été fumé le plus abondamment.

Il s'ensuit enfin, comme résultat le plus remarquable et le plus important, que si, sur le même terrain richement fumé, nous avons cultivé pêle-mêle des pommes de terre, du froment, des navets, des pois, du trèfle (plantes qui renferment de la potasse, de la chaux et de la silice), nous aurions récolté, en seize ans, pour une quantité donnée de carbone, la même proportion d'azote que dans une prairie qui n'a pas reçu d'engrais.

Nous récoltons sur un arpent de prairie, en plantes contenant de la potasse, de la chaux, de la silice, 984 livres de carbone et 32,2 livres d'azote, et sur un

arpent de terre cultivée, nous obtenons, d'après une moyenne de seize ans, 857 de carbone et 26,8 d'azote.

Si nous mettons en ligne de compte le carbone et l'azote des fanes de pommes de terre et de betteraves, qu'on a négligées dans l'évaluation du rapport de la terre cultivée, il en résulte que celle-ci, malgré l'abondance du fumier azoté et carboné qui lui a été apporté, n'a pas produit une plus grande quantité de carbone et d'azote qu'une même étendue de prairie, sur laquelle il n'a été répandu que des *matières nutritives de nature minérale* (de celles qui entrent dans la composition du sol).

En quoi consiste alors le véritable effet des engrais formés des excréments solides et liquides des animaux?

Cette question est maintenant capable de recevoir une solution : ces excréments ont produit un effet très marqué sur nos terres cultivées, auxquelles nous avons enlevé, chaque année, depuis des siècles, sous forme de grains ou sous celle de bétail, une certaine quantité des parties constituantes du sol, ou plutôt auxquelles nous n'en avons plus apporté.

Si nous n'eussions pas fumé ces terres pendant les seize années, nous n'en aurions retiré que la moitié ou le tiers du carbone et de l'azote.

Ce que nous avons obtenu, tant de cette étendue de terre que de la prairie, est, par le fait, le résultat des excréments solides et liquides des animaux; cependant, malgré toute l'abondance de l'engrais, ces terres, pendant la sixième année où elles ont été fumées, ne se sont pas montrées plus riches en parties nutritives ap-

partenant au sol, qu'elles ne l'avaient été dans la première année. Pendant la deuxième année, après avoir été fumées, elles en ont contenu moins que dans l'année qui a précédé ; et cinq ans après, elles ont été tellement épuisées, que, pour obtenir une récolte aussi abondante que dans la première année, nous avons été obligés de rapporter dans le sol autant de parties constituantes que nous en avions enlevé pendant les cinq années précédentes. Cette restitution s'est faite incontestablement au moyen du fumier.

L'engrais que nous avons apporté n'a donc eu d'autre résultat que d'empêcher que notre terre cultivée ne soit devenue plus pauvre que ne l'est le sol d'une prairie rapportant vingt-cinq quintaux de foin. Nous enlevons au sol, chaque année, par les plantes de la prairie, c'est-à-dire par le foin, autant de substances minérales que par une récolte de grain, et nous savons que la fertilité des prairies dépend de la restitution de ces substances, tout comme la fertilité des terres cultivées dépend du fumier. Deux prairies de même étendue, qui contiennent des quantités inégales de ces substances nutritives inorganiques, ont, dans des circonstances égales, une fertilité inégale. La prairie qui en contient le plus fournit, en un certain nombre d'années, plus de foin que celle qui en contient le moins.

Si nous ne remplaçons pas les principes enlevés au sol de la prairie, sa fertilité en diminue d'autant.

Sa fertilité reste non seulement la même par l'emploi des excréments solides et liquides des animaux, mais elle peut être encore augmentée par le seul effet des substances minérales que les plantes ligneuses et d'au-

tres végétaux donnent pour résidu dans l'incinération. Par l'emploi des *cendres*, nous rendons à nos prairies une fertilité qui irait en diminuant. Par le mot de cendres, nous entendons ici l'ensemble des substances nutritives que la terre offre aux végétaux ; en les répandant sur les prairies, on communique aux plantes qui y croissent la faculté de condenser par leurs surfaces du carbone et de l'azote.

L'effet des excréments solides et liquides, qui ne sont autre chose que *les cendres des plantes brûlées dans l'organisme animal*, ne devait-il pas résulter de la même cause? C'est ce qu'il fallait se demander.

La fertilité, toutes les conditions physiques étant égales d'ailleurs, ne serait-elle pas indépendante de l'affluence de l'ammoniaque? Si nous avions évaporé l'urine, desséché et brûlé les excréments solides, et si nous avions apporté sur nos terres les sels de l'urine, et la cendre des excréments solides; les plantes cultivées dans ce sol, les graminées et les légumineuses, n'auraient-elles pas puisé le carbone et l'azote à la même source d'où les graminées et les légumineuses de nos prairies les ont reçus?

C'est à peine si le doute peut encore régner sur cette question.

En Virginie on récolte en minimum sur le même champ, et sous forme de froment, vingt-deux livres d'azote par arpent, ce qui fait, après cent ans, deux mille deux cents livres d'azote. Si nous nous imaginions que tout cet azote vînt du sol, il faudrait que chaque arpent en eût reçu plusieurs centaines de mille livres sous forme d'excréments animaux!!!

Depuis des siècles, ainsi que je l'ai déjà mentionné dans une de mes précédentes lettres, on récolte en Hongrie, sur le même champ, du tabac et du froment sans qu'on y ait jamais apporté d'azote. Est-il possible que tout cet azote récolté provienne du sol?

Tous les ans nos forêts de hêtres, de châtaigniers, de chênes, se couvrent de feuilles ; les feuilles, la sève, les glands, les châtaignes, les faines, les noix de coco, les fruits de l'arbre à pin, sont riches en azote. Cet élément n'est pas renfermé dans le sol ; la main de l'homme ne l'apporte pas aux plantes sauvages. Sur un arpent planté de mûriers, nous récoltons sous forme de vers à soie l'azote des feuilles dont ces vers ont été nourris ; ils nous en donnent une partie en soie, laquelle contient plus de dix-sept pour cent d'azote, et cette récolte se renouvelle tous les ans, sans que nous apportions dans le sol aucun fumier azoté. Il est impossible d'avoir du doute sur la source d'où cet azote tire son origine. Cette source ne peut être que l'atmosphère.

N'importe sous quelle forme l'azote s'y trouve contenu, sous quelle forme il en est absorbé, l'azote des plantes sauvages provient assurément de l'atmosphère.

Les champs de la Virginie, les terres de Hongrie, ne doivent-ils pas ou ne peuvent-ils pas l'avoir reçu de la même source que les plantes sauvages? L'azote provenant des excréments ne doit-il pas avoir été tout-à-fait indifférent ; *ou bien recevons-nous réellement de nos terres une quantité de principes sanguifiables correspondant à la quantité d'ammoniaque qu'on y apporte?*

Cette question se trouve résolue d'une manière décisive par les expériences de M. Boussingault ; expériences

qui ont d'autant plus d'importance qu'elles ont été exécutées dans un tout autre but et dans une direction tout-à-fait différente.

Supposons que le fumier qu'il a répandu sur ses terres ait été dans l'état où se trouvait celui qui a été analysé (c'est-à-dire desséché à 110 degrés dans le vide); ces terres ont reçu par le fumier, en seize ans, 1300 livres d'azote; et pourtant le fumier n'a pas été répandu à l'état sec, mais bien dans son état naturel, humide, imprégné d'eau; et nous savons que tout l'azote contenu dans les excréments animaux, sous forme de carbonate d'ammoniaque qui est volatil, se dégage par la dessiccation. L'azote de l'urine, qui s'est transformé par la putréfaction en carbonate d'ammoniaque, n'a pas été porté en compte dans les 1300 livres; admettons qu'il représente seulement la moitié de celui contenu dans les excréments desséchés, et nous aurons 1950 livres d'azote, apportées en seize ans sur une terre.

Cependant, dans les seize ans, on n'y a récolté en grains, paille et racines, que 1507 livres d'azote. C'est donc beaucoup moins qu'on n'y en a apporté, et M. Boussingault a tiré de ce fait cette conclusion erronée, qu'il n'y a que les légumineuses qui aient la faculté de condenser l'azote de l'air, tandis que les graminées et les plantes, dont on mange les racines, exigent qu'on leur en apporte; et cependant, dans le même temps, sur une même surface de bonne prairie, qui n'a pas reçu d'azote (sur un hectare — quatre arpents de Hesse), nous en récoltons 2060 livres.

Tout le monde sait qu'en Égypte, contrée pauvre en

bois, les excréments des animaux sont desséchés, et forment le principal combustible; on sait que, pendant des siècles, l'Europe en a reçu, sous forme de sel ammoniac, l'azote contenu dans la suie provenant de ces excréments, jusqu'à ce que Gravenhorst, de Brunswick, ait découvert, vers le milieu du siècle dernier, le moyen de fabriquer le chlorhydrate d'ammoniaque

Les terres de la vallée du Nil ne reçoivent aucun engrais animal, excepté les parties non volatiles et constituantes des cendres de ces excréments, et pourtant les terres ont, depuis des siècles bien antérieurs au commencement de notre histoire, une célébrité proverbiale par leur fertilité, qui est, de notre temps, aussi admirable qu'elle l'a été jadis. Ces terres reçoivent tous les ans, par le limon apporté par les inondations du Nil, un nouveau sol que n'a pu encore épuiser une culture de plusieurs siècles, et auquel tous les principes minéraux enlevés par les récoltes sont ainsi restitués. Le limon du Nil contient aussi peu d'azote que celui des Alpes suisses qui vient fertiliser nos terres lors des inondations du Rhin.

En effet, quelles immenses couches de substances animales et végétales azotées ne devrait-il pas se trouver sur les hautes montagnes de l'Afrique, à des hauteurs qui dépassent la limite des neiges, où, faute de végétation, aucun oiseau, aucun animal ne trouve plus aucune nourriture!

Nous savons que le fromage provient des plantes dont les vaches se nourrissent. Les plantes des prairies de la Hollande tirent l'azote renfermé dans le fromage de la même source que les plantes de nos prairies; elles

le puisent dans l'air. En Hollande, les vaches laitières restent jour et nuit dans les pâturages, de sorte que tous les sels renfermés dans le fourrage restent sur les terres sous forme d'urine ou d'excréments solides; on n'en enlève par le fromage qu'une quantité comparativement très faible.

L'état de fertilité de ces pâturages ne peut donc pas plus changer que celui de nos champs, qui ne sont pas pâturés, mais auxquels nous restituons, sous forme de fumier, la plus grande partie des substances minérales qui en ont été enlevées.

Dans les districts de la Hollande où se fabriquent les fromages, ces substances minérales restent sur les prairies; dans nos exploitations rurales, nous les recueillons à part pour les rapporter de temps en temps sur nos terres.

L'azote de l'urine et des excréments solides des vaches provient des plantes qui croissent dans les prairies de la Hollande, et qui l'avaient elles-mêmes puisé dans l'air atmosphérique. C'est encore de la même source que vient l'azote de toutes les espèces de fromages qu'on fabrique en Hollande, en Suisse, et dans d'autres pays.

Depuis des siècles, les pâturages hollandais, des Alpes, de la Suisse, ont produit quelques milliers de quintaux de fromages; tous les ans on en exporte de ces pays plusieurs milliers de quintaux, et ces exportations ne diminuent en aucune manière la capacité de rendement de ces prairies, bien qu'elles ne puissent jamais recevoir plus d'azote qu'elles n'en renferment déjà.

D'après ces faits, il est bien certain que nos terres ne peuvent être épuisées par l'enlèvement des produits azotés, parce que ce n'est pas le sol, mais l'atmosphère

qui fournit l'azote aux végétaux ; que nous ne pouvons pas augmenter leur fertilité, leur capacité de rendement en y apportant du fumier azoté, en y répandant simplement des *sels ammoniacaux* ; que leur rendement, au contraire, augmente ou diminue dans un rapport direct avec les substances nutritives minérales qui y arrivent par les engrais.

La formation des principes du sang, celle des parties constituantes azotées dans nos plantes cultivées, se trouvent liées à la présence de certaines matières renfermées dans le sol ; si ces principes minéraux viennent à lui manquer, il n'y a point d'assimilation d'azote, lors même qu'il y aurait une affluence très abondante d'ammoniaque. L'ammoniaque contenue dans les excréments animaux n'exerce un effet favorable que parce qu'elle est accompagnée d'autres substances nécessaires à sa transformation en principes sanguifiables. Si nous fournissons à la terre les autres conditions en même temps que l'ammoniaque, celle-ci est alors assimilée ; mais dans le cas où l'ammoniaque vient à manquer, la plante puise l'azote dans l'air ; elle le tire d'une source dans laquelle les pertes se réparent d'elles-mêmes par la putréfaction et par la combustion lente des corps des animaux et des végétaux.

L'ammoniaque accélère et favorise la croissance des plantes dans tous les terrains où les conditions nécessaires à son assimilation se trouvent réunies ; mais elle est entièrement sans effet sur la production des principes du sang quand ces conditions sont absentes.

[illegible]ous pouvons nous imaginer que l'asparagine (partie [illegible]tuante active de l'asperge et de la racine d'althéa),

ou que les principes azotés et sulfurés de la graine de moutarde et de toutes les crucifères, puissent être produits sans le concours des parties constituantes du sol. Cependant, lors même que les principes organiques du sang pourraient se former dans les plantes sans l'intervention de ses principes inorganiques, sans la potasse, ni la soude, ni le phosphate de soude, ni le phosphate de chaux, ces produits seraient néanmoins sans utilité pour nous et pour les animaux auxquels est assignée une nourriture végétale; ils ne rempliraient pas le but auquel la sagesse du Créateur les a destinés. Sans les alcalis, les phosphates ne peuvent former ni sang, ni lait, ni os, ni fibre musculaire; si seulement le phosphate de chaux venait à manquer, nous aurions peut-être des chevaux, des bœufs, des brebis, mais ils seraient sans os.

Par l'urine, par les excréments solides des animaux, par le guano, nous apportons à nos plantes cultivées de l'ammoniaque, et par celle-ci de l'azote. Cet azote se trouve là accompagné de toutes les autres substances nutritives de nature minérale, et exactement dans les mêmes proportions où tous ces corps se sont trouvés réunis dans les plantes qui ont servi de nourriture aux animaux; ou, ce qui revient au même, dans les mêmes proportions où leur réunion est la plus convenable pour une nouvelle génération de plantes.

L'effet d'une introduction artificielle d'ammoniaque, comme source d'azote, de même que celui de l'humus comme source d'acide carbonique, se borne donc à une question de temps; ce n'est qu'un moyen d'obtenir, dans un temps donné, un développement plus rapide

de nos plantes cultivées. En apportant l'ammoniaque dans nos champs sous la forme des excréments des animaux ou de l'homme, nous augmentons la proportion des principes sanguifiables de nos plantes cultivées; effet que le carbonate ou le sulfate d'ammoniaque seuls ne produisent jamais d'eux-mêmes.

Pour éviter tout malentendu, il faut encore une fois faire observer que les considérations qui précèdent ne se trouvent nullement en désaccord avec les effets de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux offerts aux plantes par des moyens artificiels. L'ammoniaque reste toujours la source de tout l'azote destiné aux plantes; sa présence n'est jamais nuisible, il est toujours utile et même absolument indispensable dans certains cas; mais il est de la plus haute importance pour l'agriculture de savoir exactement que l'introduction de l'ammoniaque est inutile et superflue pour la plupart des végétaux cultivés; que la valeur d'un fumier ne doit pas être appréciée (comme cela se fait ordinairement en France et en Allemagne) d'après la quantité d'azote qu'il contient, mais que son efficacité n'est jamais en proportion avec cette quantité d'azote.

Par la détermination précise des quantités de cendres fournies par les plantes cultivées qui se seront développées dans les terrains les plus divers, et par leur analyse, nous apprendrons quelles sont les parties constituantes qui varient dans la même plante, et quelles sont celles qui y sont constantes. Nous arriverons à une connaissance exacte de la somme de toutes les parties constitutives du sol que nous lui enlevons dans les différentes récoltes.

L'agriculteur sera alors en état (comme dans une manufacture bien organisée) de tenir un registre pour chacune de ses terres, de déterminer d'avance avec exactitude quelles substances et en quelle quantité il devra y apporter pour la maintenir, après la récolte, dans son état primitif de fertilité ; il pourra alors exprimer exactement en livres quelle quantité d'un principe minéral, ou d'un autre, il lui conviendra d'employer pour augmenter les produits à l'égard de certaines cultures.

Ces recherches sont un besoin de notre époque ; nous pourrons espérer d'avoir, dans peu d'années, la solution de ces questions par les efforts réunis des chimistes de tous les pays ; et avec le secours des agriculteurs éclairés, nous arriverons à un système rationnel, inébranlable dans sa base, pour l'art agricole et pour l'économie rurale de tous les pays et de tous les terrains.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.




APR

